



## 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

에너지·자원의 편의수익에 관한 연구

A Study on Convenience Yield of Energy and  
Mineral Commodities

2014년 2월

서울대학교 대학원  
에너지시스템공학부  
김 수 현

# 에너지·자원의 편의수익에 관한 연구

지도교수 허 은 녕

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함  
2013년 10월

서울대학교 대학원  
에너지시스템공학부  
김 수 현

김수현의 석사학위논문을 인준함  
2013년 12월

위 원 장	_____	(인)
부 위 원 장	_____	(인)
위 원	_____	(인)

## 초 록

본 연구는 편의수익의 정의에 따라 에너지와 자원 시장에서의 편의수익을 추정하고 이를 에너지·자원별로 비교 분석함으로써 각 에너지원의 재고가 갖는 경제적 특성을 고찰하는 데 목적이 있다.

먼저, 에너지·자원 시장에서 편의수익과 재고에 관한 기존의 주요 연구를 종합하고 이를 재분류하였다. 연구의 흐름으로부터 주요 방법론을 정리하고, 이에 대해 에너지·자원 상품과 편의수익 간의 관계를 통계적으로 분석함으로써 에너지원간의 차이를 정리하였다. 분석 프레임은 첫째로, 이자율 조정된 베이스스(Interest-adjusted Basis, IAB)를 계산하여 베이스스와 재고와의 관계를 직접적으로 검증하였다. 둘째로, IAB를 재고의 근사치로 사용하는 간접적 방법으로 재고와 가격 변동성 간 관계를 확인하였다. 마지막으로 옵션가치 평가모형을 통해 편의수익을 추정하고 재고와의 관계를 분석한 후 IAB 결과와 비교하였다.

분석은 2000년 1월부터 2013년 7월까지의 기간에서 WTI 원유, Brent 원유, 헨리허브 천연가스 3종의 에너지 상품과 알루미늄, 아연, 철, 구리 4종의 광물 자원을 대상으로 하였다. 분석 결과는 다음과 같다. 모든 에너지·자원의 IAB는 재고에 따라 증가하는 양의 관계를 나타내며 저장이론을 잘 설명하였다. 반면, 가격 변동성과 재고와의 관계에서 원유는 음의 베이스스일 때 가격 변동성이 더 크다는 가정을 만족하지 못하였다. 옵션가치평가모형으로 콜옵션 가치 추정 결과, Brent 원유를 제외한 모든 상품의 콜옵션가치가 재고에 따라 감소하여 이론에 부합하는 결과를 보였다. 단, 재고의 증가에 대해 IAB와 옵션가치의 반응은 철만이 유일하게 같은 것으로 나타났다.

본 연구가 지니는 주요 의의는 첫째 이론적 측면에서, 기존의 연구 흐름을 종합함으로써 향후 편의수익 및 재고 관련 연구를 위한 정리된 자료를 제공한

다. 이를 분석 방법론에 연결하여 방법론에 따른 재고와 편의수익 간 차이를 보였다. 둘째, 주요 에너지 상품과 광물 자원을 포괄하여 분석함으로써 재고로 인한 에너지와 광물의 경제적 특성을 비교하였다는 점에서 의의가 있다. 재고와의 관계에서 에너지와 광물간의 차이는 가격 추세 및 변동에 대한 재고의 역할과 정도에 차이가 있음을 시사한다. 이는 가격 및 재고 연구 시 상품에 따른 적절한 방법론이 고려되어야 함을 의미한다.

주제어: 에너지(Energy), 광물(Mineral), 편의 수익(Convenience Yield), 재고(Inventory), 옵션 가치(Optionality)

학번: 2012-20990

# 목 차

제 1 장 서   론 .....	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제 2 절 논문의 구성 .....	5
제 2 장 편의수익 관련 주요 연구 .....	8
제 1 절 전통적 저장이론과 직접적 검증 연구 .....	8
1. Kaldor(1939) .....	8
2. Working(1948) .....	10
3. Working(1949) .....	11
4. Telser(1958) .....	12
5. Brennan(1958) .....	13
6. Wright and Williams(1989) .....	18
제 2 절 저장이론의 간접적 검증 연구 .....	19
1. Fama and French(1988) .....	19
2. Cho and McDougall(1990) .....	22
3. Gao and Wang(2005) .....	23
4. Geman and Ohana(2009) .....	24
5. Stronzik <i>et al.</i> (2009) .....	25
6. Symeonidis <i>et al.</i> (2012) .....	26
제 3 절 편의수익의 옵션성에 관한 연구 .....	28
1. Heinkel <i>et al.</i> (1990) .....	28
2. Ng and Pirrong(1994) .....	29
3. Milonas and Thomadakis(1997) .....	30

4. Heaney(2002) .....	33
5. Kocagil(2004) .....	34
6. Chen <i>et al.</i> (2006) .....	36
7. Zulauf <i>et al.</i> (2006) .....	37
8. 박지훈(2007) .....	38
9. Hochradl and Rammerstorfer(2012) .....	39
10. West(2012) .....	40
 제 3 장 편익수익 연구의 종합화 .....	 41
제 1 절 편익수익 연구의 기존 분류 정리 .....	41
제 2 절 편익수익 연구의 체계화 .....	51
 제 4 장 에너지·자원의 편익수익 추정 및 가설 검정 모형 .....	 60
제 1 절 분석 자료 .....	60
제 2 절 에너지·자원의 편익수익 및 재고 주요 분석 방법론 .....	61
제 3 절 에너지·자원의 편익수익과 재고 간 관계 분석 모형 .....	63
1. 직접적 검증 모형 .....	64
2. 간접적 검증 모형 .....	64
3. 옵션가치 평가모형 .....	65
 제 5 장 에너지·자원의 편익수익 추정 및 가설 검정 결과 .....	 68
제 1 절 에너지·자원 재고와 편익수익 간 직접적 분석 결과 .....	68
제 2 절 에너지·자원 재고와 편익수익 간 간접적 분석 결과 .....	78
1. Cho and McDougall(1990)의 표준편차 비교 .....	78
2. Symeonids <i>et al.</i> (2012)의 양과 음의 베이스스 계수 비교 .....	80

제 3 절 옵션가치 평가모형을 통한 분석 결과 .....	83
1. 콜옵션 가치 추정 .....	83
2. 채고와 콜옵션가치의 관계 .....	84
3. IAB와 콜옵션가치 비교 .....	93
제 6 장 결    론 .....	97
참고 문헌 .....	101
부    록 .....	112
Abstract .....	133



## 표 목 차

[표 1] Cho and McDougall(1990)의 연구 분류 .....	42
[표 2] Gao and Wang(2005)의 연구 분류 .....	42
[표 3] Symeonidis <i>et al.</i> (2012)의 연구 분류 .....	43
[표 4] Geman and Ohana(2009)의 연구 분류 .....	46
[표 5] Stronzik <i>et al.</i> (2009)의 연구 분류 .....	46
[표 6] Volmer(2012)의 연구 분류 .....	47
[표 7] Chen <i>et al.</i> (2006)의 연구 분류 .....	48
[표 8] Zulauf <i>et al.</i> (2006)의 연구 분류 .....	49
[표 9] Kocagil(2004)의 연구 분류 .....	50
[표 10] Hochradl and Rammerstorfer(2012)의 연구 분류 .....	50
[표 11] 에너지 상품 연구의 편의수익 추정 및 검증 방법론 .....	62
[표 12] 에너지원별 IAB의 기초통계량 .....	68
[표 13] 재고와 IAB 간 직접적 검증 결과 .....	69
[표 14] 기타 직접적 검증 분석 결과 .....	70
[표 15] 베이스스의 부호에 따른 표준편차 비교 .....	79
[표 16] 부호에 따른 베이스스와 변동성 간의 회귀분석 결과 .....	81
[표 17] 베이스스 부호의 계수 통계적 비교 .....	82
[표 18] 추정된 콜옵션가치의 기초통계량 .....	84
[표 19] 콜옵션가치에 대한 재고량의 회귀분석 결과 .....	85
[표 20] 콜옵션가치와 IAB의 재고에 대한 추세 비교 결과 .....	94
[표 21] 가설 검정의 결과 종합 .....	96

## 그 림 목 차

<그림 1> 논문의 구성 .....	7
<그림 2> 재고량과 저장가격 간 공급곡선 .....	10
<그림 3> 재고량과 베이스스 간 함수 관계 .....	14
<그림 4> 순한계비용과 재고량과의 관계 .....	15
<그림 5> 저장 수요곡선과 공급곡선 균형 .....	17
<그림 6> 재고량 증가에 따른 편의수익 및 베이스스 변화 .....	20
<그림 7> 저장이론 및 편의수익 연구의 흐름 .....	59
<그림 8> WTI 원유 재고량과 IAB 관계 .....	71
<그림 9> Brent 원유 재고량과 IAB 관계 .....	72
<그림 10> 헨리허브 천연가스 재고량과 IAB 관계 .....	73
<그림 11> 철 재고량과 IAB 관계 .....	74
<그림 12> 알루미늄 재고량과 IAB 관계 .....	75
<그림 13> 아연 재고량과 IAB 관계 .....	76
<그림 14> 구리 재고량과 IAB 관계 .....	77
<그림 15> WTI 원유 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	86
<그림 16> Brent 원유 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	87
<그림 17> 헨리허브 천연가스 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	88
<그림 18> 철 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	89
<그림 19> 알루미늄 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	90
<그림 20> 아연 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	91
<그림 21> 구리 재고량과 콜옵션가치 관계 .....	92

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 배경 및 목적

원자재의 재고는 수요와 공급 간 차이에 의해 발생하는 가격의 급격한 변화를 완충하는 기능을 한다. 공급이 수요를 초과할 때, 재고의 비축은 상품 가격의 하락을 완화하고 수요가 급증하는 시기에 재고의 방출은 가격 상승을 저지한다. 이러한 재고의 기능으로 인해 재고의 수준과 변화량은 원자재와 농산품 등의 가격 변화를 분석하고 예측하는 데 중요한 변수가 되어 왔다. 여러 가지 원자재 중에서도 에너지·자원 상품의 재고는 시장의 상황을 가격에 반영한다는 점에서 그 중요성이 두드러진다.

특히 원유의 재고는 시장뿐만 아니라 정치·경제적 상황에 따라 비축과 방출의 의사결정이 이루어지므로 원유 재고의 수준과 변화량은 꾸준히 주시되고 있다. 미국 원유 및 석유제품의 재고가 미국 WTI 원유 가격에 미치는 영향은 미국 석유 가격을 분석하는 연구에서 다루어지는 주된 이슈 중 하나이다<sup>1)</sup>. 이들 연구는 원유 거래가 활발하게 일어나는 오클라호마 쿠싱 지역의 재고가 WTI 원유의 가격과 관계가 있음을 밝히고 있다. 실제 재고의 비축과 방출이 가격에 미치는 영향에 더해, 전략비축유<sup>2)</sup>는 방출의 계획 정보 자체가 갖는 가격에의 영향 또한 상당한 것으로 평가된다.

이와 같은 재고의 중요성은 편의수익(convenience yield)이라는 개념을 통해 가격으로 연결된다. 편의수익이란, 상품의 가격이나 수요에 급격한 상승이 발생할 때, 보유한 재고를 이용하여 생산 일정을 유지하고 대응 비용을 최소화함으로써 얻게 되는 편익을 말한다. 재고는 미래에 가용한 물량이라는 점에

---

1) Fattouh.(2007), "WTI Benchmark Temporarily Breaks Down: Is It Really a Big Deal?," Oxford Energy Comment.

Ederington(2012), Contnago in Cushing? Evidence on Financial-Physical Interactions in the U.S. Crude Oil Market.

2) IEA(International Energy Association)은 석유의 공급 차질 시 대응을 위해 전년도 일 순수입량의 90일분에 해당하는 원유를 비축하도록 의무를 부과하고 있다.

서 편의수익으로 표현되어 선물가격과 현물가격의 베이스를 결정하는 변수가 된다. 재고 수준이 높을 때에는 재고 한 단위 증가로 인해 얻는 편의수익이 낮아 정상시장(contango)이, 재고 수준이 낮을 때에는 재고 한 단위 당 편의수익이 높아 역조시장(backwardation)이 발생한다. 따라서 베이스는 재고의 비축과 방출 의사결정에 대한 신호로 작용하기도 하며 기관과 정유사가 원유 등을 구매하고 제품을 판매하는 데 베이스에 기초한 전략이 활용된다<sup>3)</sup>. Precious Metals Research에서는 경기 변동에 따른 금, 은 등 귀금속 편의수익으로부터 전문투자자들이 거래 전략을 세울 수 있음을 시사하였다(Chang and Foster, 2012)<sup>4)</sup>. 즉, 재고의 편의수익은 원자재를 거래하는 기업, 에너지를 담당하는 기관 등을 비롯해 헷지와 전문투자자의 포지션과도 관계가 있다.

편의수익은 Kaldor(1939)에 의해 처음 소개되었으며, Working(1948, 1949), Telser(1958), Brennan(1958)의 연구들은 Kaldor(1939)의 이론을 발전시켜 나갔다. 이는 ‘저장이론(Theory of storage)’이라는 연구의 줄기를 형성하며 음의 베이스에서도 상품의 재고가 비축되는 현상을 해석하였다. 초기 연구들은 실제 재고량을 취합하여 재고와 베이스 간 관계 등에 초점을 맞추어 분석하였다. 그러나 Wright and Williams(1989)에 의해 유사 상품의 재고를 총합할 시 자료의 집계 문제(data aggregation problem)이 있음을 제기되었다. 이에 Fama and French(1988)은 실제 재고 자료를 사용하는 대신, 재고의 근사치로써 이자율 조정된 베이스(Interest-adjusted Basis, IAB)를 이용하였다. Fama and French는 IAB를 재고의 근사치로 사용하여 재고 수준이 낮아질 때 현물가격 변동성이 증가한다는 가설을 검증하였다. Cho and McDougall(1990)은 Fama and French(1988)의 방법이 재고의 근사치를 이용했다는 점에서 저장이론의 간접적 검증방법이라 일컬고, 원유와 석유제품에

3) 한국과학기술원(2007), “비축사업 중장기 발전방향 연구”

4) <http://preciousmetalsresearch.wordpress.com/2013/10/06/precious-metal-and-the-convenience-yield/>

이 방법을 적용하였다. 한편, Heinkel *et al.*(1990)은 편의수익이 옵션성을 가지며 옵션가치평가모형을 통해 추정될 수 있다고 주장하였다. 이어 Milonas and Thomadakis(1997)가 정량적으로 Heinkel *et al.*(1990)의 방법을 분석하면서 편의수익에 옵션가치평가모형을 적용하는 기초가 시작되었다. 이로부터 Heaney(2002)는 기존의 모형에서 몇 가지 가정을 완화한 발전된 모형을 제시하였고, Heaney(2002)의 연구를 이은 이후 논문들에 의해서 아시안 옵션모형, 교환옵션모형 등 다양한 방법론이 편의수익 연구에 도입되었다.

이러한 선행 연구의 흐름을 살펴볼 때, 연구 주제 및 방법 따라 기존의 연구가 분류됨을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고, 기존의 연구들은 해당 논문의 주제에 해당하는 것을 중심으로 선행연구를 정리해 왔기 때문에 편의수익과 저장이론의 연구가 분리되어 있는 경향이 있다. 편의수익을 바라보는 관점에 차이가 있더라도 위 연구들은 편의수익과 재고의 관계라는 문제의식을 공유한다. 때문에 편의수익에 관해 연구의 종합적인 시각의 제시가 필요성이 대두된다. 이에 본 연구에서는 첫 번째 파트로써 연구가 시작되는 1939년부터 최근 2013년 이르기까지 편의수익에 관한 연구를 재정리하였다. 선행연구들로부터 편의수익에 관한 연구는 IAB로 추정하는 것과 옵션가치평가모형을 통해 추정하는 것으로 크게 나누어짐을 알 수 있다. IAB로 추정된 편의수익은 첫째로, 재고 수준과의 관계를 보는 직접적 분석 방법, 둘째로 재고의 근사치를 이용해 가격 변동성과의 관계를 살펴보는 간접적 분석 방법으로 나뉜다. 마지막으로, 옵션가치평가모형을 통해 추정된 편의수익은 기존의 저장이론에 기반한 다양한 가설을 검증하는 형태로 분석되어 왔다. 각 범주 연구의 공통점은 재고가 가격과 어떠한 관계를 갖느냐는 질문으로부터 재고의 수준과 변동에 따른 가격의 변화에 대한 답을 찾고자 한 것임을 알 수 있다.

선행 연구의 정리에 이어, 본 연구의 두 번째 파트에서는 주요 모형을 토대로 에너지·자원 상품의 편의수익을 추정하고 재고와의 관계를 정량적으로 분

석하였다. 분석 프레임은 IAB로 추정된 편의수익과 재고 간 직접적 방법, IAB를 재고의 근사치로 활용하여 가격 변동성과의 관계를 보는 간접적 방법, 옵션가치평가모형을 통해 추정된 편의수익과 재고 간 분석 세 가지이다. 2000년 1월부터 2013년 7월까지 원유, 천연가스, 철, 아연, 알루미늄, 구리의 편의수익과 재고 간 관계를 정량적으로 분석하였다. 이로써 각 에너지·자원의 편의수익이 재고와의 저장이론을 만족하는지 살펴보고, 각 상품의 경제적 특성 차이를 확인하고자 하는 것에 목적을 두었다.

이와 같은 분석을 통해 본 연구는 첫째, 기존 편의수익 연구를 종합화함으로써 향후 관련 연구를 발전시킬 수 있는 이론적 발판을 마련하였다. 기존 연구를 재정리해 체계화함으로써 관련 분야를 연구하고자 하는 연구자들이 흐름을 쉽게 살펴볼 수 있도록 정리했다. 이는 향후 연구를 이어가는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 둘째, 에너지 상품과 광물 상품을 모두 대상으로 하여 IAB와 옵션가치의 관점에서 편의수익을 추정하고 재고와의 관계를 직·간접적 방법으로 검증해 기존의 방법론을 종합한 분석 결과를 제시하였다는 점에서 의의가 있다. IAB와 옵션가치 편의수익 추정 결과가 주요 에너지상품에서 일관된 행태를 보이는지 검증하고 차이를 확인하는 것은 이전에 수행되지 않은 것이다.

제2절에서는 이론의 종합화와 바탕으로 정량적 분석을 수행한 본 논문의 구성의 방식에 대해서 소개하고 각 장에서 진행되는 내용을 구체적으로 설명하고자 한다.

## 제 2 절 논문의 구성

본 연구는 제2장과 제3장이 주요 선행 연구를 정리하는 부분으로, 제4장과 제5장이 모형을 제시하고 가설을 분석 부분으로 나뉘는 구조에 따라 기술되었다(<그림 1>). 에너지·자원 상품을 대상으로 편익수익과 저장이론에 대해 연구하기 위해서는 우선적으로 기존 연구의 흐름을 정리하는 것이 선행되어야 한다. 그 이유는 편익수익 연구라는 대분류에도 불구하고 세부적인 연구 주제에 차이가 있으며 이러한 연구 주제를 그룹화함으로써 편익수익에 대한 각 연구의 관점을 명확히 알 수 있기 때문이다. 이러한 분류에 근거를 마련하기 위한 보다 객관적인 방법으로는 기존 연구들에서 각 주제들에 해당하는 선행 연구를 무엇으로 선정했는지 정리하는 것이다. 각 주제별 주요 연구를 재분류하는 것은 편익수익에 대해 어떠한 연구가 수행되어 왔는지에 대한 종합적 시각을 제시해 준다. 이어지는 분석 모형과 분석 결과는 이러한 선행 연구들의 정리에 기반한다. 분석은 편익수익과 재고와의 관계를 직접적으로 검증하는 방법, 재고의 근사치를 이용해 간접적으로 검증하는 방법, 편익수익을 옵션가치로 추정하여 재고 관계를 검증하는 방법 세 가지로 나누어진다. 원유, 천연가스, 알루미늄, 철, 아연, 구리에 대해 분석을 수행하였다. 각 장에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

제2장에서는 편익수익과 재고의 관계에 관한 연구들을 정리하였다. 저장이론과 편익수익에 관한 연구가 시작된 1939년부터 2013년의 최근 연구까지를 다루었다. 소절은 연구의 주요 주제 및 방법론에 따라 직접적 검증 방법, 간접적 검증 방법, 옵션가치평가모형을 이용한 방법으로 나누었다.

제3장에서는 이러한 주제 분류의 근거로써 전체 연구의 흐름을 살펴보았다. 제1절에서 각 연구 주제에 따라 기존 연구들을 어떤 관점에서 나누었는지 소개하고 제2절에서 이를 종합화하고 재분류하였다.

제4장에서는 편익수익과 재고의 관계를 검증하기 위해 사용한 자료를 기

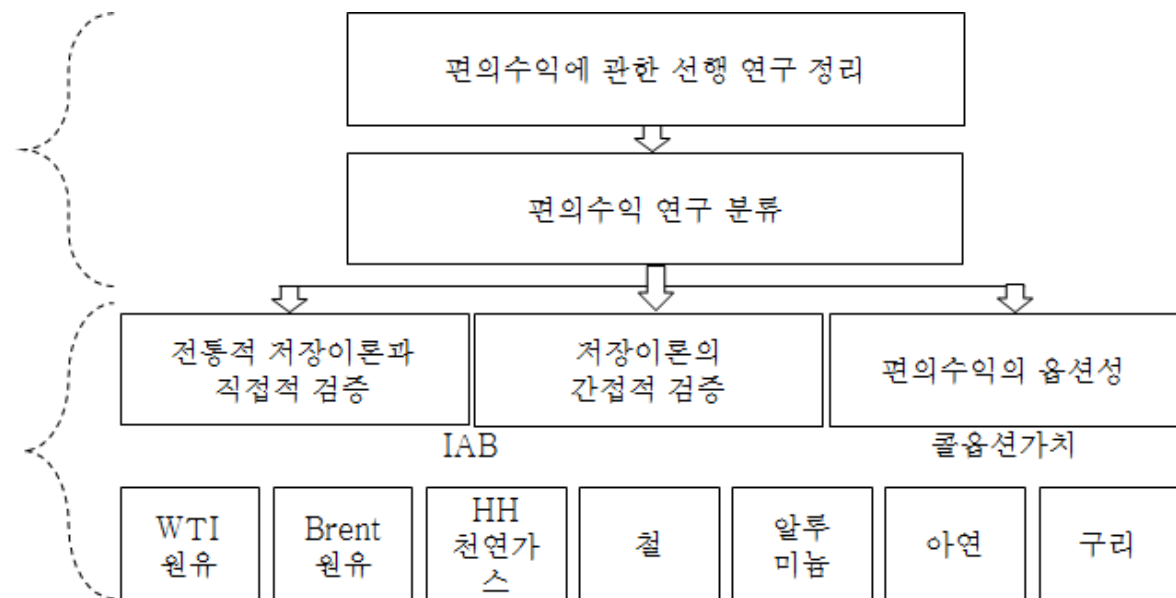
술하고 이를 분석한 모형들을 설명했다. IAB를 추정하고 이를 재고에 회귀한 직접적 검증 방법, 변동성과 IAB 관계를 확인하는 간접적 검증 방법을 제시하였다. 또한 최근 활발하게 연구되고 있는 편의수익의 옵션성으로부터 옵션가치평가모형과 그 분석 방법을 살펴보았다.

제5장에서는 위와 같은 방법론으로부터 원유, 천연가스, 광물에 대해 분석한 결과를 제시하였다. 각 분석 방법론이 이론적 가정에 부합하는지, IAB와 옵션가치라는 편의수익에 관한 두 관점에 일치하는지를 확인하였다. 이러한 결과로부터 제6장에서는 본 연구의 주요 결론을 요약하고 시사점 및 한계점을 제시하였다.



제 2 장 ~ 제 3 장  
편의수익 연구의 종합화

제 4 장 ~ 제 5 장  
모형 및 에너지·자원별 실증분석



<그림 1> 논문의 구성

## 제 2 장 편의수익 관련 주요 연구

### 제 1 절 전통적 저장이론과 직접적 검증 연구

#### 1. Kaldor(1939)

1930년대부터 상품을 선물 및 선도가격과 현물가격 간의 관계를 설명하고자 하는 연구가 시작되었다. 이는 현물을 보유함으로써 이자비용(interest cost)과 보유비용(carrying cost)이 들어가기 때문에 선도 가격이 이들 비용을 반영한다는 것이 전제되었다. 여기서, Keynes(1930)는 만기의 기대현물가격과 현재의 현물가격에 초점을 맞추어 논의를 시작하였다. ‘정상적 역조시장(Normal backwardation) 이론’으로 불리는 이 이론은 생산자가 만기에 상품 판매 시, 가격 변동의 위험을 헷지하기 위해 선도계약을 매도하려는 유인이 있다고 보았다. 따라서 위험 프리미엄(risk premium)이 이들 관계를 연결 짓는 변수임을 주장하였다.

그러나 Kaldor(1939)는 헷저가 선도 계약의 매도자라는 것이 전제가 됨으로써 헷저가 선도 매입자일 경우의 가격관계를 설명하지 못한다는 한계를 지적하였다. 포지션에 따른 가격 관계가 역전되는 현상을 이해하기 위해 Kaldor는 선도가격과 현물가격에 보유비용과 이자비용 외에 편의수익(convenience yield)라는 변수를 도입하였다. 그가 정의한 편의수익이란, 상품의 재고로 인해 재고 보유자가 얻게 되는 편익이다. 즉, Keynes(1930)가 선도계약과 현물, 기대현물가격의 관계를 (1)과 같이 보았다면,

$$\begin{aligned} EP - CP &= i + c + r \\ FP - CP &= i + c, \quad FP = EP - r \end{aligned} \quad (1)$$

$EP$ : 기대현물가격

$CP$ : 현재의 현물가격

$FP$ : 선도가격

$i$ : 이자비용

$c$ : 보유비용

$r$ : 위험 프리미엄

Kaldor(1939)는 (2)와 같은 편의수익 모형을 세우게 된다.

$$\begin{aligned} EP - CP &= i + c' - q + r \\ FP - CP &= i + c' - q, \quad FP = EP - r \end{aligned} \quad (2)$$

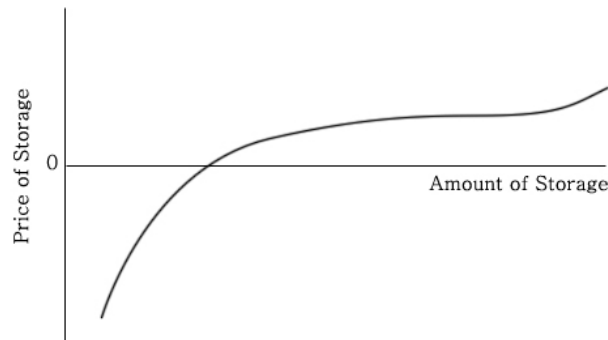
$c'$ : 적정 보유비용(carrying costs proper)

$q$ : 편의수익

이는 기존의 보유비용이 적정 보유비용과 편의수익의 합으로 나타내어지는 발상에 기초한다( $c = c' - q$ ). 이후 Kaldor(1939)의 모형은 Working(1948), Brennan(1958) 등에 의해 선도가격과 현물가격에서 나타나는 음의 보유비용(inverse carrying charge)을 중심으로 발전하게 된다.

## 2. Working(1948)

Working(1948)은 보유비용(carrying charge)을 재고의 저장가격(price of storage)로 보고<sup>1)</sup>, 재고의 저장가격과 재고량간의 공급곡선을 도출하였다(그림 1). 또한 이 관계가 시장에 의해 결정된다고 주장하였다.



<그림 2> 재고량과 저장가격 간 공급곡선

자료: Working, 1948

Kaldor(1939)가 편의수익이라는 개념을 고안함으로써, 보유비용은 양의 값 뿐만 아니라 음의 값을 가질 수 있게 되었다. 이로부터 Working(1948)은 보유비용에 의한 선도 및 선물가격과 현물가격 간 관계식 (3)과 같이 나타내었다.

$$P_1 + P_s - P_2 = 0 \quad (3)$$

$P_1$ : 선물 또는 선도 가격

$P_2$ : 원월물의 선도 가격

$P_s$ : 보유비용(저장비용)

<sup>1)</sup> Working(1948)에 의하면, 보유비용(carrying charge)이라는 무역용어는 근월물과 원월물 가격의 차이가 상품을 보유하는 데 들어가는 비용과 같다는 인식에서 비롯되어, 저장가격(price of storage)이라는 경제 용어로 불리기도 한다. 가격의 차이가 상품의 저장 및 보험에 들어가는 비용에 이자를 합한 것과 같을 때를 완전보유비용시장(full carrying charge market)이라고 한다. 이는 즉, 양의 보유비용이 발생한다는 것과 일맥상통하다.

### 3. Working(1949)

Working(1949)은 시간 간 가격 관계(inter-temporal price relations)에 대해 살펴봄으로써 재고의 저장가격에 대한 Working(1948)의 논의를 심화하였다. 여기서 시간 간 가격 관계란, 한 시점에서 관찰하는 서로 다른 두 시간대 가격 간의 관계로, 예를 들어 원월물과 근월물의 가격을 말한다.

이전에 가격관계를 바라보는 관점은 두 가격이 독립적이며 두 시점 사이에 발생하는 공급량 변화에 따라 가격 변화가 달라진다는 것이었다. Working(1984)은 이에 반박하며, 시기 사이에 예상되는 상품의 공급량 변화는 두 가격에 비슷한 정도로 영향을 미치며, 오히려 현존하는 공급량(supplies in existence)이 이들 가격 관계에 변화를 가져오는 요인이라고 지적했다. 현존하는 공급량은 재고의 보유비용에 영향을 미치고 바로 이 보유비용이 가격 관계를 결정하기 때문이다. Working(1948)에 의하면 재고의 공급량에 제한이 없다면, 원월물의 가격은 근월물 가격에 이 기간 동안 발생하는 저장비용을 합한 것과 같다. 그리고 저장비용은 재고를 보관하는 서비스를 제공함으로써 재고 보유자가 받게 되는 직접적 경제적 보상으로 연결된다. 그러나 공급량이 풍부하지 않다면 경쟁 시장이 형성되고 재고를 공급함으로써 얻는 이득은 시장에 의해 결정되어진다. 따라서 Working은 이러한 시장논리로부터 원월물의 가격이 근월물의 가격보다 큰 경우 이들의 차는 저장가격(price of storage)로 정의하였다.

원월물의 가격이 근월물의 낮은 경우는 음의 저장비용(negative price of storage)이 발생하는데, 이러한 현상은 재고를 보유함으로써 인해 발생하는 편익인 ‘편의수익’의 개념으로 설명하였다. 위의 논리를 바탕으로 할 때, 여기서 편의수익은 저장으로 인한 직접적 경제적 이익이 없음에도 불구하고 많은 양의 재고를 보유하는 원인으로 작용하게 되는 것이다.

#### 4. Telser(1958)

Telser(1958)는 저장에 대한 수요와 공급의 균형 결정 매커니즘을 구체화하고, 재고와 베이스스의 관계를 분석하였다. 먼저, Telser(1958)가 제시하는 재고에 대한 수요곡선에서 재고 소비량은 재고를 상품으로 시장에 투입한 양과 생산량의 합에서 상품을 재고로 저장한 양의 차로 정의한다. 이 재고소비량이 베이스스와 갖는 관계는 기업이  $t$ 기에  $t-1$ 기보다 적은 양을 재고로 저장한 후, 그 양을 상품으로 시장에 판매하는 경우를 예로 살펴볼 수 있다. 재고로 저장하는 양이 적어지므로  $t-1$ 기의 공급량은 많아져 상품 가격이 낮아지고 소비가 증가한다. 반면  $t$ 기에 시장에 투입되는 재고는 적어지므로 판매량이 적어져 가격이 오르게 되면 소비가 감소한다. 즉  $t-1$ 기에 저장하는 재고가 감소하면  $t$ 기에 비해  $t-1$ 기의 가격이 감소하는 것이다(베이스스는 커진다). 따라서  $t$ 기와  $t-1$ 기의 가격차이인 베이스스는  $t-1$ 기와  $t$ 기 사이의 재고량에 대한 감소함수이다.

다음으로 기업의 저장에 대한 공급곡선에서 재고를 저장하는 데 들어가는 순한계비용은 한계저장비용과 한계편의수익의 차로 나타내어진다. Telser(1958)가 말하는 편의수익이란, 재고를 보유함으로써 얻는 편익을 말한다. 이는 일정한 공급물량을 유지함으로써 얻는 편익과 즉각적인 공급량 변화에 드는 비용보다 낮은 비용으로 공급량을 조절함으로써 얻는 수익을 뜻한다. 이와 같은 재고에 대한 기업의 공급곡선과 수요자의 수요곡선에 의해 균형재고량과 재고의 저장가격이 결정되는 것이다.

Telser(1958)는 1934년부터 1954년, 목화와 밀의 베이스스<sup>2)</sup>를 재고량에 대해 회귀분석하여 기업의 재고 공급곡선을 실증하였다. 그 결과는 앞서 연구자들이 제시한 편의수익 모형 및 이론을 지지하며, 나아가 재고의 계절적 변동 특성이 베이스스를 결정하는 것을 보인다.

---

2) 이 때 베이스스는 한계저장비용과 한계편의수익의 차인 순한계비용을 뜻한다.

## 5. Brennan(1958)

Brennan(1958)의 연구는 저장이론 및 편의수익에 관한 논의를 재고 저장의 수요와 공급의 관점에서 일반화 하였다. Brennan(1958)에 의해 정의되는 편의수익이란 재고를 보유함으로써 가격이나 수요의 급격한 상승에도 생산일정과 고객을 낮은 비용으로 유지하여 얻는 이익이다.<sup>3)</sup> Brennan(1958)은 저장(storage)의 공급자란 미래를 위해 재고를 보유하고 있는 사람을, 저장의 수요자란 재고를 특정 기간 동안 보유하고자 하는 사람으로 정하고 각각의 수요와 공급 곡선을 도출하였다. 저장의 수요를 논의하기에 앞서, Brennan(1958)은 상품의 소비는 상품의 가격에 의존하며 가격이 오르면 소비가 줄어들기 때문에 (4)와 같은 함수로 나타내었다.

$$P_t = f_t(C_t), \quad \frac{\partial f_t}{\partial C_t} < 0 \quad (4)$$

$C_t$ : t기의 상품에 대한 소비

$P_t$ : t기의 상품 가격

$$C_t = X_t + S_{t-1} - S_t = X_t + \Delta S \quad (5)$$

$X_t$ : t기의 상품 생산

$S_t$ : t기 말의 재고

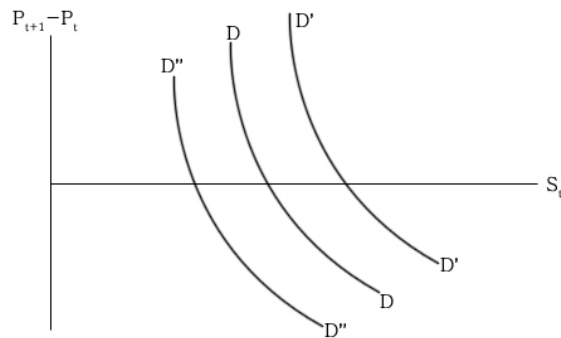
$S_{t-1}$ : t-1기 말의 재고

여기서 재고와 상품 수요, 가격간의 관계를 찾을 수 있다. t기에 상품 가격이 증가한다면 상품에 대한 소비가 감소하므로 재고로 처리되는 양이 많아진

---

<sup>3)</sup> The convenience yield is attributed to the advantage(in terms of less delay and lower costs) of being able to keep regular customers satisfied or of being able to take advantage of a rise in demand and price without resorting to a revision of the production schedule. Si

다. 이는  $t+1$ 기에 공급되고  $t+1$ 기의 공급량이 증가하므로 가격은 낮아지게 된다. 즉, 이와 같이 가격 변화량이 음인 경우에 재고는 증가하고 가격 변화량이 양이라면 재고는 감소하는 양상을 갖는다. 이러한 관계로부터 Brennan(1958)은  $t$ 기와  $t+1$ 기의 베이스스가 동 기간의 재고에 대한 감소함수라는 사실을 찾아냈다(<그림 3>).



<그림 3> 재고량과 베이스스 간 함수 관계

자료: Brennan, 1958

$$\begin{aligned} P_{t+1} - P_t &= f_{t+1}(C_{t+1}) - f(C_t) \\ &= f_{t+1}(S_t + X_{t+1} - S_{t+1}) - f_t(S_{t-1} + X_t - S_t) \end{aligned} \quad (6)$$

Brennan(1958)은 저장의 순한계비용을 한계부대비용과 한계위험회피비용의 합에서 한계편의수익 뺀 값으로 정의하였다(7). 첫째로 저장에 대한 부대비용이란 저장 공간을 빌리는 데의 비용, 취급수수료, 이자, 보험비 등을 포함한다. 재고량이 많아질수록 총 부대비용이 커지며, 한계 부대비용 또한 증가한다. 둘째로, 예기치 못한 수요의 증가가 발생할 때에 재고를 방출하거나 생산량을 조절하는데, 편의수익이란 이러한 변동에도 고객들에게 일정한 서비스를 제공하며 생산일정을 유지함으로써 얻게 되는 이득을 말한다. 따라서 재고가 줄어들면 한계편의수익이 증가하고, 재고가 증가할수록 한계편의수익은 0

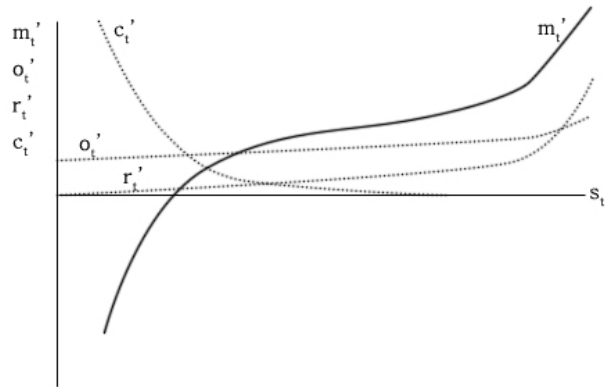


에 가까워진다. 마지막으로 위험회피비용은 재고가 증가할수록 증가한다. 왜냐하면 재고가 커질수록 재고를 갖고 있는 기업은 가격 하락에 대해 떠안게 될 위험이 크기 때문이다(그림 4).

$$\begin{aligned} m_t(S_t) &= o_t(S_t) + r_t(S_t) - c_t(S_t) \\ m'_t(S_t) &= o'_t(S_t) + r'_t(S_t) - c'_t(S_t) \end{aligned} \quad (7)$$

$$o' > 0, o'' > 0; r' > 0, r'' > 0; c' > 0, c'' < 0$$

$m_t$ : 순비용,  $m'_t$ : 순한계비용  
 $o_t$ : 부대비용,  $o'_t$ : 한계부대비용  
 $r_t$ : 이자비용,  $r'_t$ : 한계이자비용  
 $c_t$ : 편의수익,  $c'_t$ : 한계편의수익



<그림 4> 순한계비용과 재고량과의 관계

자료: Brennan, 1958

재고를 저장함으로 얻는 기대한계이익(expected marginal revenue)을  $u'(S_t)$ 로 두면, 순기대이익을 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$u_t(S_t) - m_t(S_t) \quad (8)$$

이 때, 총이윤이 커질 조건은  $u'_t(S_t) = m'_t(S_t)$ 이므로 저장의 공급곡선은  $u'_t$ 로 나타낼 수 있다.

$$u'_t = g_t(S_t) \quad (9)$$

이와 같은 저장의 수요와 공급으로부터 t기에 저장되는 균형 재고량을 베이스의 함수로 나타낼 수 있다. 균형은 재고의 공급과 가격이 같아지는 점이므로

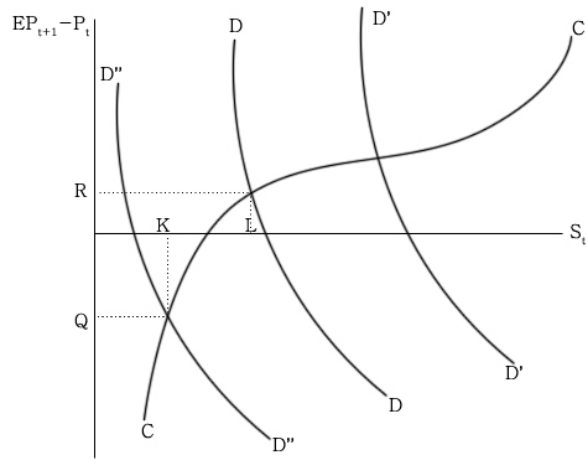
$$u'_t = EP_{t+1} - P_t \quad (10)$$

$EP_{t+1}$ : t+1기의 기대가격

따라서 저장의 공급곡선은 아래 (11)과 같은 관계로 나타내어진다.

$$\begin{aligned} g_t(S_t) &= Ef_{t+1}(C_t) - f_t(C_t) \\ &= Ef_{t+1}(S_t + X_{t+1} - S_{t+1}) - f_t(S_{t-1} + X_t - S_t) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 베이스로 귀결되는 기대가격과 현재가격의 차인  $P_{t+1} - P_t$ 는  $o'_t + r'_t - c'_t$ 와 같다는 식이 도출된다. <그림 5>는 이러한 저장의 수요곡선과 저장의 공급곡선에서 균형 재고량 및 가격을 보여준다.



<그림 5> 저장 수요곡선과 공급곡선 균형

자료: Brennan, 1958

1924년부터 1932, 1938년까지의 달걀, 치즈, 버터, 밀, 귀리를 대상으로 한 실증 분석으로 Brennan(1958)은 그가 제시한 재고의 공급곡선 이론에 부합하는 결과를 얻었다. 베이스스가 한계위험회피비용과 한계편의수익의 차를 나타낸다고 할 때, 베이스스는 재고가 감소할수록 급격하게 낮아지고 재고가 증가할수록 완만하게 증가하는 양상으로 나타났다. 이는 재고가 피크인 시기에 한계편의수익이 0에 가까워지며, 한계위험회피비용은 재고에 따라 증가하는 것을 의미한다.

## 6. Wright and Williams(1989)

Wright and Williams(1989)는 선물과 현물가격 간 베이스스가 이자, 보험, 창고 등에 들어가는 완전보유비용(full carrying cost)보다 낮음에도 재고를 저장하는 현상이 일어나는 이유를 밝히고자 하였다. 이를 위해 불확실성 하의 부분균형모형(partial equilibrium theory)을 이용해 기업의 기대이윤 극대화 문제를 풀어 대체관계에 있는 개별 상품군을 생산, 소비, 저장할 때 한 상품군을 재고로 저장한다는 것은 다른 상품군이 역조시장에 있는 것임을 보였다. 그리고 이러한 관계는 한 시점의 한계변환비용(marginal transformation cost)이 다음 시점의 기대한계변환비용보다 크기 때문이라는 것을 제시하였다. 따라서 Wright and Williams(1989)가 그린 재고의 공급곡선을 살펴보면 개별 상품군은 역조시장일 때에 재고를 저장하는 현상이 나타나지 않는다. 그러나 이들 상품군을 총합하여 계산할 경우 역조시장에서도 재고를 저장하는 것으로 나타는 재고의 집계 문제(aggregation problem)이 발생함을 알 수 있다.

Wright and Williams(1989)는 위와 같은 이론을 확인하기 위하여 1973년부터 1982년의 커피 가격과 재고를 대상으로 회귀분석을 수행하였다. 그 결과, 커피 가격과 미국 전체 커피재고에 대해서는 Working(1948)의 재고 공급곡선이 얻을 수 있었다. 하지만 동일한 가격에 대해 특정 커피 계약의 재고를 분석한 결과 역조시장이 일어나는 가격 범위에서는 재고로 저장하는 양이 0에 가깝게 나타났다. 이러한 논의는 Kaldor(1939)가 베이스스와 재고의 관계를 설명하기 위해 편의수익을 도입한 것과는 다른 관점으로써, 한계변환비용 및 재고의 집계 문제로 현상을 해석한 것이다.

## 제 2 절 저장이론의 간접적 검증 연구

### 1. Fama and French(1988)

Fama and French(1988)는 재고에 대한 근사치로써 이자율 조정된 베이스(interest-adjusted basis)를 사용하여 저장이론에 대한 간접적 검증 방식을 제시하였다. 이는 재고 데이터를 사용함으로써 정부 재고량이나 집계 과정<sup>4)</sup>에 의해 결과가 왜곡되는 현상을 회피하기 위함이다. 재고의 수준이 높을 때에는 한계편의 수익이 낮아 이자율 조정된 베이스가 양의 값을 갖고, 재고의 수준이 낮을 때에는 편의수익이 높아져 이자율 조정된 베이스가 음의 값을 갖기 때문에 이자율 조정된 베이스의 부호는 재고에 대한 근사치의 역할을 할 수 있다.

Fama and French(1988)는 Samuelson(1965)<sup>5)</sup>을 저장이론에 접하여 첫째로, 재고 수준이 낮을 때 선물가격은 현물가격에 비해 변동성이 적으나 재고 수준이 높을 때에는 두 가격의 변동성은 비슷하다는 것을 보였다<sup>6)</sup>. 나아가, 경기 주기가 피크에 있을 때 양의 수요 충격에 대해 광물 생산은 즉각적으로 조정되기 어려우므로 재고 수준이 낮아지면서 선물가격이 현물가격보다 낮아지는 결과를 제시하였다. 이 때, 현물가격의 변동성은 선물가격의 변동성보다 커진다.

Fama and French(1988)가 정립한 선물가격과 현물가격간의 관계는 (12)와 같다.

---

4) Williams and Wright(1989)에 의해 제시되었던 재고 집계(data aggregation) 문제

5) Samuelson(1965)는 선물가격이 현물가격보다 덜 변동적이며, 선물가격은 만기에 대한 감소함수라고 하였다.

6) 일반적으로 에너지 상품의 생산은 장기보다 단기에 더 비탄력적이다. 가격의 변동에 대해 생산일정 및 생산량을 빠르게 조정하기가 어렵기 때문이다. 이러한 맥락에서 거래량을 조절하기 어려운 현물은 선물보다 비탄력적이다. 따라서 만약 재고 수준이 낮다면 수요충격 및 가격변동에 대해 현물 공급량이 빠르게 대응하지 못하므로 현물가격 변동이 커지지만 재고 수준이 낮다면 현물 공급량을 조절하는 대신 일시적으로 재고로 저장해 두었던 상품을 시장에 공급하면 되기 때문에 가격 변동폭이 완화된 선물가격과 비슷한 수준으로 변동하게 된다.

$$F(t, T) - S(t) = S(t)R(t, T) + W(t, T) - c(t, T)$$

$$[F(t, T) - S(t)]/S(t) - R(t, T) = [W(t, T) - C(t, T)]/S(t) \quad (12)$$

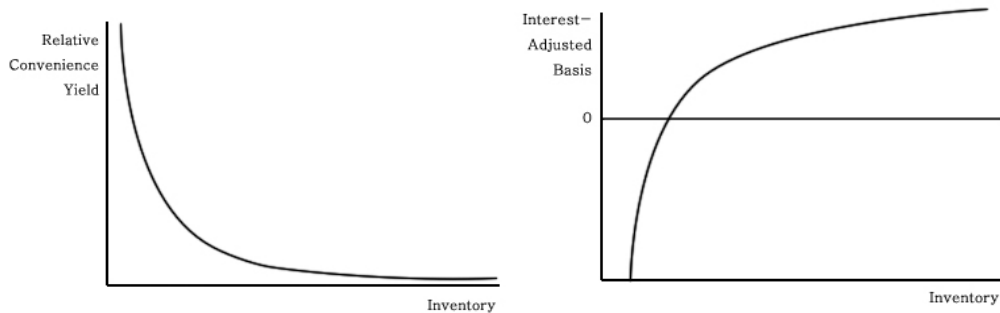
$S(t)R(t, T)$ : 재고 저장에 따르는 이자 비용(interest foregone)

$W(t, T)$ : 한계저장비용(marginal warehousing cost)

$c(t, T)$ : 한계편의수익(marginal convenience yield)

이자율 조정된 베이스란 좌항인  $[F(t, T) - S(t)]/S(t) - R(t, T)$ 를 말하며 이는 상대적 재고 저장비용과 상대적 편의수익의 차와 같다는 방정식을 얻을 수 있다.

한계저장비용은 재고의 수준이 변하더라도 일정한 값을 가지고 편의수익의 변화가 저장비용의 변화보다 크며, 편의수익은 재고에 따라 감소하면서 그 속도 또한 감소한다는 것을 전제한다( $\partial C/\partial I < 0$ ;  $\partial^2 C/\partial I^2 > 0$ , 그림 6).



<그림 6> 재고량 증가에 따른 편의수익 및 베이스스 변화

자료: Fama and French

지속적으로 수요 충격이 현재 현물가격과 기대 현물가격에 영향을 미친다면, 현재의 가격 상승할 때 수요가 감소하고 공급은 증가하므로 기대 현물가격에 대한 충격은 상쇄된다. 따라서 충격이 지속적이면 현재 현물가격의 증가

분이 기대 현물가격 증가분보다 크다. 이 때 재고와 편의수익의 동태를 살펴 보면, 재고 수준이 높을 때에는 편의수익이 거의 일정한 값을 가지기 때문에 재고 수준이 변하더라도 편의수익과 베이스에 미치는 영향은 미미하다. 즉 현재 현물가격에 미치는 수요충격을 재고가 흡수하여 현재 현물가격이 크게 변동하지 않는 것이다. 그러나 재고 수준이 낮을 때에는 재고량을 조금만 변화시켜도 편의수익이 크게 움직여 현재 현물가격과 베이스 변동은 커지게 된다. 따라서 재고 수준이 낮아 이자율 조정된 베이스가 음의 값을 가지면 그 변동성이 커지는 것이다. 이를 정리하면 이자율 조정된 베이스가 0보다 클 때에는 현물가격과 선도가격 변동성이 거의 같고, 0보다 작을 때에는 현물가격 변동성이 선도 가격 변동성보다 크다.

Fama and French(1988)는 검증을 위해 아래 식 (13)을 세우고 1972년부터 1983년의 광물(산업용 금속, 귀금속)<sup>7)</sup>에 대해 그 계수를 확인하였다.

$$\ln[F(t, T)/F(t-1, T-1)] = a + b \ln[S(t)/S(t-1)] + e(t) \quad (13)$$

산업용 금속은 재고 수준이 높을 때(베이스가 양)에는 현물과 선도의 가격 변화가 같으므로 b는 1에 가까우나, 재고 수준이 낮을 때(베이스가 음)에는 선물가격 변화가 커 b가 1보다 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 귀금속은 그 차이가 명확하지 않으므로 편의수익이 가격에 미치는 영향이 산업용 금속에 비해 낮다는 결론을 얻음으로써 금속의 용도별 재고 특성을 비교하였다.

---

7) 산업용 금속: 알루미늄, 구리, 납, 아연, 철, 귀금속: 금, 백금, 은

## 2. Cho and McDougall(1990)

Cho and McDougall(1990)은 미국 석유시장(원유, 휘발유, 난방유)에서의 저장이론을 재조명하였다. 고려한 시기는 1985년 1월 첫째 주부터 1989년 5월 둘째 주로, 저장이론의 전통적 회귀분석과 이를 보완하기 위한 Fama and French(1988)의 변동성 분석 방법론 사용하였다.

Cho and McDougall(1990)은 가격 시계열로써 첫 번째와 두 번째 근월물을 사용하였고 (14)의 IAB를 재고의 근사치로 활용하였다.

$$IAB = [F_2 - F_1(1+i)]/F_1 \quad (14)$$

$F_2, F_1$ : 두 번째와 첫 번째(현물) 근월물 계약의 가격

$i$ : 이자율

첫째로, IAB와 재고수준간의 회귀분석을 함으로써 저장이론을 직접적으로 검증하는 방법을 우선적으로 수행하였으며, 세 상품을 비교할 때 휘발유 재고의 IAB에 대한 영향이 가장 크고, 원유와 난방유의 IAB는 재고의 변화에 민감하게 반응하지 않는 것으로 나타났다. 둘째로, Fama and French의 간접적 검증 방법으로 IAB가 양일 때(재고 수준이 높을 때)보다 음일 때(재고 수준이 낮을 때)에 선물가격의 변동성 및 IAB의 변동성이 크게 나타나는지 검증하였을 때, 휘발유와 난방유는 그 결과가 유의했으나 원유에 대해서는 뚜렷한 결과를 얻지 못했다. Cho and McDougall(1990)의 결과는 난방유와 휘발유와 같이 계절적 변동이 큰 에너지원이 재고와 선·현물가격 간 관계가 더 크다는 것을 시사한다.



### 3. Gao and Wang(2005)

Gao and Wang(2005)는 저장이론에 대한 직·간접적 검증 연구에 대해서 설명하고 ARMAX-비대칭 GARCH 모형을 이용하여 이들 두 검증 방법을 통합하는 방법(unified test)를 제시하였다. 이 모형으로 확인하고자 하는 가설은 첫째로, 재고 수준이 낮을 때의 베이스스 변동성이 재고 수준이 높을 때보다 더 크다는 것과 둘째로, 적절한 재고 데이터는 베이스스와 정의 관계를 가지면서 재고에 대한 비대칭적 변동 특성을 잘 설명할 수 있다는 것이다. 첫 번째 가설을 확인하기 위한 간접적 검증방법에 사용하는 EGARCH 모형을, 두 번째 가설에는 ARMAX-비대칭 GARCH 모형을 사용하였다.

본 연구에서는 1989년부터 2000년까지의 산업용 금속(알루미늄, 구리, 납, 아연, 철, 니켈)과 귀금속(금, 은, 구리) 일별 현물가격 및 3개월물 선도 가격을 사용하였다. 재고는 LME와 NYMEX에서 제공하는 일별 재고량을 활용했다.

분석 결과, 산업용 금속과 귀금속 중 구리의 베이스스의 변동성은 재고에 대해 강한 비대칭성을 나타낸 반면, 금과 은은 이러한 비대칭적 특성이 나타나지 않았다. 또한 산업용 금속은 납을 제외하고는 베이스스 방정식에서 평균과 조건부 분산 함수를 잘 만족하였으나, GARCH 모형에서의 비대칭성은 완전하게 설명하지 못했다. 마지막으로, 이전의 연구들에서 등장했던 직접적 검증 방법은 잔차항에서 나타나는 비대칭적 변동을 무시하므로 잘못되었다는 것을 밝혔다.

#### 4. Geman and Ohana(2009)

Geman and Ohana(2009)는 Fama and French(1987)을 확장하여 재고의 근사치로써 석유와 천연가스의 수익 곡선 기울기(조정된 베이스스와 재고간의 관계)를 확인하고 재고와 가격 변동성간의 관계를 분석하였다. 가격 시계열은 NYMEX에서 거래되는 원유와 천연가스의 1개월과 13개월 선물가격을 사용하였다. 재고는 OECD 석유제품 재고, 미국 원유 재고, 미국 석유제품 재고를 대상으로 하였다. 기간적 범위는 1993년 1월부터 2008년 8월까지의 일별 가격과 1992년 12월 31일부터 2008년 8월까지의 월별 재고로 두고 분석을 수행했다.

먼저, 조정된 베이스스를 재고에 대해 회귀분석을 하였다. 그 구조는 식 (15)와 같으며, 재고량은 계절적 추세를 제거하기도 하였다.

$$spread_t = a + bI_{t-1} + \epsilon_t \quad (15)$$

*spread*: 이자율 조정된 베이스스

$I_{t-1}$ : t-1기의 재고량

원유의 경우, 세 재고의  $R^2$ 를 비교할 때, 원유의 이자율 조정된 베이스스가 원유 재고보다 석유제품 재고에 대해 더 적합한 근사치가 되는 것으로 나타났다. 나아가 Geman and Ohana(2009)는 VAR(p) 모형을 통해 조정된 베이스스와 이들 재고의 인과관계를 분석하였다. 둘째로, 조정된 베이스스의 변동성을 분석한 결과, 석유의 경우 재고와 변동성은 재고의 수준에 관계없이 재고수준이 낮을수록 변동성이 큰 관계를 보였다. 반면 천연가스의 경우, 그 관계는 재고가 평균보다 낮은 경우(최소한 경우)에만 나타났으며 겨울에 특히 뚜렷한 결과를 보였다.

## 5. Stronzik *et al.*(2009)

본 연구는 Fama and French(1987, 1988)의 방법을 확장하여 유럽의 주요 천연가스 허브인 NBP, TTF, ZEE<sup>8)</sup>에서 재고에 따른 선·현물가격의 변동성을 확인하였다. 분석기간은 2005년부터 2008년에 해당한다. Fama and French(1988)의 방법에 따라 재고에 대한 근사치로써 순한계편의수익(net marginal convenience yield)를 사용하였으며 효율적시장에서의 무차익거래를 전제할 때 순한계편의수익은 식 (16)과 같다.

$$y_t^T = r_t^T - (\ln F_t^T - \ln S_t) \quad (16)$$

$r_t^T$ : t와 T기간 사이의 이자율

$F_t^T$ : 만기가 T인 t시점의 선물가격

$S_t$ : t시점의 현물가격

이는 천연가스 현물가격의 변동성과 역의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 또한 편의수익이 갖는 계절적 특성과 이자율, 석유 가격의 영향을 고려할 때, NBP, ZEE, TTF 모두 계절성이 나타났으나 이자율은 NBP와 ZEE에서만 유의한 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 석유 가격은 세 허브의 천연가스 가격에 모두 영향을 주는 결과를 얻었다. 본 연구는 이러한 간접적 검증 결과로부터 위의 결론과 함께 시장성과(market performance)에 대해서 고찰하였는데 단기적으로 유럽 천연가스 시장에 상당한 차익거래 가능성이 있는 것을 보여주었다. 이는 세 허브가 불완전 시장을 이루고 있음을 시사한다.

---

<sup>8)</sup> NBP(National Balancing Point in the UK), TTF(Dutch Title Transfer Facility), ZEE(Zeebrugge in Belgium)

## 6. Symeonidis *et al.*(2012)

Symeonidis *et al.*(2012)는 1993년부터 2011년의 21개의 상품에 대해 상품 가격의 변화 양상과 변동성 분석하였다. 재고에 대한 수익 곡선으로부터 저장 이론에서 제시된 바와 같이 낮은(높은) 재고 수준은 역조시장(정상시장)임을 보였다. 또한 상품 가격의 변동성이 재고에 대한 감소함수이며 이 현상이 역조시장일 때에 두드러짐을 보였다.

본 연구에서  $i$  상품의  $t$ 기 이자율 조정된 베이스스( $b_{i,t}$ )는 (17)과 같다.

$$b_{i,t} = \frac{F_{i,t,T_2} - F_{i,t,T_1}}{F_{i,t,T_1}} - R_{f,t}\delta \quad (17)$$

$F_{i,t,T_2}$ : 원월물의 가격,  $F_{i,t,T_1}$ : 근월물의 가격

$R_{f,t}$ : T-bill의  $t$ 기 연이율,  $\delta = (T_2 - T_1)/365$

재고와 수익 곡선 기울기(조정된 베이스스)간의 관계는 아래 식 (18)을 회귀분석 하였다.

$$\widetilde{b_{i,T}} = \alpha_i - \beta_i \widetilde{I_{i,\tau}} + u_{i,\tau} \quad (18)$$

$\widetilde{b_{i,\tau}}$ :  $\tau$ 월 상품  $i$ 의 베이스스(계절성 제거)

$\widetilde{I_{i,\tau}}$ : 로그를 취한 재고량(월말, 계절성 제거)

위 회귀분석 결과, 재고와 조정된 베이스스 간에 유의한 양의 관계를 얻었다. 계수의 크기를 고려할 때, 에너지 상품과 돼지는 재고와 특히 강한 관계를 보였고, 원유와 천연가스가 가장 큰 계수를 가졌다.

저장이론에 의하면 재고는 가격 변동성과 역의 관계를 갖는다. 본 연구에서는 이러한 가격 변동성을 조정된 베이스스의 변동성과 근월물 선물(현물)

수익 변동성으로 나누어 살펴보았다. 조정된 가격 변동성을 얻기 위해 매월의 표준편차를 구해 아래 식 (19)를 회귀하였다.

$$\widetilde{\sigma}_{i,\tau} = \alpha_i + \gamma_i \widetilde{I}_{i,\tau-1} + \epsilon_{i,\tau} \quad (19)$$

$\widetilde{\sigma}_{i,\tau}$ : 조정된 베이스의  $\tau$ 달의 표준편차(계절성 제거)

회귀 결과로부터 재고와 조정된 베이스 변동성은 음의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 특히 에너지 상품 중 난방유와 원유는 매우 유의한 음의 관계를 가지나, 천연가스는 앞서 연구 결과와 달리, 변동성에 그 관계가 있어서는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 현물 수익 변동성 또한 표준편차로 구하여 같은 회귀분석을 반복하였다. 대부분의 상품에서 음의 계수를 얻을 수 있었으며, 에너지와 농작물, 동물 상품에서 큰 계수가 나타났다.

마지막으로 이자율 조정된 베이스가 음일 때에 광물 가격이 더 변동적임을 주장했던 Fama and French(1988)의 연구를 확장하였다. 즉, 양과 음의 이자율 조정된 베이스에 대해 종속변수를 이자율 조정된 베이스 변동성과 근월물 가격 변동성으로 두며 식 (20)과 같이 두 번의 회귀분석을 수행하였다.

$$\sigma_{i,\tau} = \phi_0 + \phi_1 I_{b_{i,\tau-1} > 0} + \phi_2 (1 - I_{b_{i,\tau-1} > 0}) b_{i,\tau-1} + e_{i,\tau} \quad (20)$$

$\sigma_{i,t}$ : 근월물 및 조정된 베이스 변동성

$I_{b_{i,\tau-1} > 0}$ : 표시 함수

그 결과,  $\phi_2$ 가  $\phi_1$  더 큰 값을 가지므로 근월물 변동성은 역조시장일 때에 재고-변동성 간의 관계가 더 큰 것으로 나타났다. 이는 재고 수준이 낮을 때에 현물가격의 변동성이 더 크다는 논리를 지지하는 결과이다.

### 제 3 절 편의수익의 옵션성에 관한 연구

#### 1. Heinkel *et al.*(1990)

Heinkel *et al.*(1990)은 가격수용자인 두 기업이 시점 0의 재고로 시점 1에 이윤을 극대화 하는 생산량을 결정하는 2기간(3시점) 모형을 토대로 재고가 옵션의 성격을 갖는 것을 보였다. 시점 0에서 재고 수준이 낮으면서 한계생산 비용이 높고 수요의 자기상관성이 높지 않으면 편의수익이 양의 값을 갖는다. 이러한 상황에서 시점 1의 수요가 급격히 높아지면 선물가격과는 별개로 시점 1에서의 현물가격이 높아진다. 이 때, 선물계약 대신 재고로 인해 재고 보유자는  $\max\{0, P_1 - E(P_2)\}$ 의 옵션이익을 얻게 된다.

균형모형으로부터 편의수익이 재고 수준에 감소함수임을 보였으며 이는 초기의 연구 결과와 일치하는 결론이다. 특히 이 모형에서는 재고 수준이 높아질수록 균형 가격이 낮아진다. 만약 재고가 시점 1에 판매된다면 시점 1에서의 가격은 떨어지지만 시점 2의 기대현물가격은 변동하지 않으므로 편의수익이 낮아진다.

이러한 분석을 통해 제시한 가설은 다음과 같다. 먼저, 높은 한계생산비용은 높은 편의수익을 유도한다. 만약 한계생산비용이 매우 낮다면 예상치 못한 수요충격이 시점 1에 발생하였을 때, 생산량을 변동함으로써 대응할 수 있다. 이는 재고로 인한 편의수익이 거의 존재하지 않음을 뜻한다. 반면에 한계생산비용이 매우 높다면 수요는 생산량이 아니라 재고량의 변화시켜 균형에 도달하므로 편의수익이 높아진다. 마지막으로 편의수익은 상품의 현물가격의 자기상관에 대해 감소함수이다. 현물가격에서의 낮은(또는 음의) 자기상관은 선물 만기 이전(시점 1)의 높은 현물가격이 선물이 만기(시점 2)되더라도 이 시기의 현물가격에 전이되지 않는다는 것이다. 이 경우에는 선물계약보다는 재고를 보유하는 것이 더 큰 이익이 되며 이는 큰 편의수익을 반영한다.

## **2. Ng and Pirrong(1994)**

Ng and Pirrong(1994)는 주요 광물 가격 변동성을 통해 저장이론을 확인하였다. 대상광종은 구리, 납, 은, 아연, 알루미늄으로 1986년 9월부터 1992년 9월까지의 자료를 이용하였다. 오차수정모형을 이용해 분석한 주요 결과는 다음과 같다.

현물과 선도 수익 변동성은 베이스스의 제곱과 강한 관계가 있으나 현물 변동성에 대해 큰 반응을 보인다. 선도 수익은 현물 수익에 비해 변동성이 약하며 이자율과 비축량의 제곱이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타낸다. 현물과 선도 수익률 간 상관관계는 베이스스의 제곱에 반비례하며 선도-현물 베이스스의 변동성은 베이스스의 수준에 따라 달라진다. 선도 가격 탄력성은 조정된 베이스스가 줄어들수록 증가하고 시장이 완전보유비용상태에 있을 때 탄력성이 1에 가까워진다. 헷지비용은 베이스스 제곱과 관계가 있다.

### 3. Milonas and Thomadakis(1997)

Milonas and Thomadakis(1997)는 4가지 저장 가능 상품에 대해 편익수익의 형태와 결정요소를 분석하였다. 본 연구에서의 편익수익은 행사가격과 만기, 기초자산이 있는 콜옵션으로 간주한다. 사용한 가격과 재고 데이터는 1966년부터 1995년에 해당한다. 연구는 편익수익이 재고와 음의 관계를 갖는다는 저장이론과 일맥상통한 결과뿐만 아니라 확장된 Black-Sholes 콜옵션 모형을 통해 편익수익이 콜옵션으로 측정될 수 있음을 보였다.

$t=0$ 은 생산결정 시점이고  $t=1$ 은 생산이 되는 시점이며  $t=z$ 는 중간 거래일이라고 할 때 생산은 시점 0과 시점 1에 걸쳐 일어나며,  $z$ 는 기존의 재고를 저장할지 소비할지 결정하는 시점이다. 선물과 현물 시장이 매 거래일에 활성화된다고 하면 아래 (21)과 같은 식이 성립한다.

$$F(0, 1) = P(0) + C(0, 1) - V(0, 1) \quad (21)$$

$F(0, 1)$ : 만기가 시점 1인 선물의 시점 0에서의 가격

$C(0, 1)$ : 보유비용

$V(0, 1)$ : 시점 0부터 1까지 재고를 보유함으로써 얻는 편익수익

여기서 편익수익  $V$ 의 값은 콜옵션가치와 동일하다고 본다. 0부터  $z$ 까지 보유하던 재고는 1까지 계속해서 보유하거나  $z$ 에 팔 수 있다. 청산할 때의 수익은 식 (22)와 같이 오직 현물가격이 선물가격보다 높을 때에만 실현된다.

$$P(z) - F(z, 1) + C(z, 1) > 0 \quad (22)$$

재고 소진이 일어날 가능성 하에서 현물가격은 시장이 균형을 이룰 때까지 증가한다. 그러나 선물가격은 시기 1의 예상 공급량 때문에 크게 오르지 못한다. 따라서 재고 보유자는  $P(z) - F(z, 1) + C(z, 1)$ 의 이득을 얻게 된다. 그러나



재고 소진이 일어나지 않는다면 이득은 0이 된다. 따라서  $V$ 의 값은 재고로 인해  $z$  시점에 얻을 수익이  $P(z) - F(z, 1) + C(z, 1)$ 인 콜옵션가치와 같아지는 것이다. 즉, 재고는 만기가  $z$ 이고 행사가격은  $t=z$ 에서의 선물가격이며 기초자산의 가격은 현물가격과 같은 콜옵션으로 상정된다.

Milonas and Thomadakis(1997)는 이러한 논리로부터 편의수익 및 콜옵션가치에 관한 4가지 가설을 제시하였다. 첫 번째 가정은 재고의 수준과 관련하여  $t=0$ 에서의 재고가 증가하면, 재고 소진 가능성이 줄어들면서  $V$ 가 감소한다는 것이다. 두 번째 가설은 옵션 가치가 기초자산 가격의 변동성이 클수록 증가한다는 것으로, 기초자산은  $z$  시점에서의 재고이며 이 가격은  $z$  시점에서의 현물가격이다. 따라서  $V$ 는 현물가격 변동성이 증가할수록 커진다는 것이다. 세 번째는 편의수익에 기간구조에 대한 것으로써, 수확 사이클 내에서 각 만기 지점마다 재고 소진 가능성이 높아지므로  $V$  또한 증가한다는 것이다. 마지막 가정은 중간 거래일들에서 편의 수익이 매우 낮을 때, 선물과 현물의 가격은 상관성이 매우 높다는 것이다.

이상의 가설들을 검증하기 위해 대두, 옥수수, 밀의 수확 주기가 있는 상품과 이러한 사이클이 없는 광물인 구리를 대상으로 분석하였다. 여기서, 편의수익이 콜옵션가치와 같은 행태를 보이는지 확인하기 위해 Fisher(1978)의 옵션가치 평가모형을 사용하였다. 이 연구에서는 편의수익의 옵션가치( $V^P$ )를 구하기 위해 행사가격과 변동성의 측정량을 얻고 이를 실제 값( $V^A$ )을 비교한다.

30년에 걸친 데이터를 사용하기 때문에 사이클 내에서 재고 수준이 조정되어가므로 옵션 가치는 점진적으로 줄어들게 된다. 이를 보정하기 위해 편의수익은 현물가격을 기준으로 변환한다. 또한 편의수익과 재고 간의 비선형성을 고려하여 로그를 취해 식 (23)을 검증한다. 식 (24)는 재고의 효과를 제거한 콜옵션가치요소를 실제 값에 회귀하여 비교한 것이다.

$$V^P/spot = a_0 + a_1 \log(I) + u \quad (23)$$

$$V^A/spot = b_0 + b_1 \log(I) + b_2 u^* + e \quad (24)$$

$u^*$ : 재고의 효과를 제거한 콜옵션가격요소

첫 번째 가정의 결과로써 밀을 제외하고는  $b_1$ 이 0보다 작다는 가설을 기각하는데 실패했으나, 재고효과를 제한 콜옵션 항( $u^*$ )은 모든 상품에서 실제 값( $V^A$ )과 유의한 양의 관계를 갖는 것으로 나타났다. 두 번째 가정에 대해, 실제 옵션가치를 설명하는데 재고항보다 콜옵션 항이 더 높은  $R^2$ 를 보였다. 이는 실제 편익수익에서 콜옵션 가치가 재고보다 더 설명력이 높다는 결론을 내릴 수 있다. 세 번째 가설을 검증함으로써 편익수익이 계절에 따라 증가한다는 것을 보였다. 먼저, 편익수익은 구리에서보다 농산품에서 높게 나타나며 농산품은 계절적 특성을 나타내었지만 구리는 그러한 특성이 나타나지 않았다. 세 개의 농산품에 대해 편익수익은 주기의 끝에 다다를수록 점진적으로 증가하였으나 구리는 이러한 현상을 보이지 않았다. 마지막으로, 각 만기에 선물과 현물 간 상관성을 살펴보았다. 그 결과, 생산이 꾸준한 상품(구리)보다 생산이 주기성을 갖는 상품(농산품)의 상관성이 더 낮게 나타났다. 편익수익이 높은 그룹과 낮은 그룹을 분리하여 검증했을 때 그 차이가 뚜렷하게 나타났는데 중간 한월<sup>9)</sup>의 편익수익이 마지막 한월보다 더 크게 나타났다. 구리의 경우에는 두 그룹간의 이러한 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았는데 이는 편익수익의 변동폭이 상대적으로 적기 때문이라고 할 수 있다.

9) 결제일을 다음 달 말로 정한 청산 거래에서 결제 기한이 되는 달을 말한다.

#### 4. Heaney(2002)

Heaney(2002)는 Heinkel *et al.*(1990)과 Milonas and Thomadakis(1997)의 2기간 모형에 기초한다. 두 모형에서 생산자는 재고를 사서 보유할 것인지 아니면 두 번째 기간 말에 상품을 판매하면서 선물 계약을 매수할 것인지를 선택해야 한다. 이들 모형에서는 상품 보유자는 단순히 첫 번째 기간 말에서의 현물가격이 높으면 재고를 팔 수 있는 옵션을 갖고 있다.

Heaney(2002)의 모형은 편의수익을 추정하기 위하여 Longstaff(1955)의 모형을 차용하였으며 여기서 거래자는 이윤 극대화를 위해 상품 및 선물에 대한 매수/매도 포지션을 취한다는 것이 특징이다. 거래자는 만기 이전에 상품의 가격이 증가하다가 떨어질 것으로 예상하는 경우, 가격이 최대치일 때 상품을 매도하고 만기에 매수한다. 반대의 경우에 거래자는 최소의 가격에서 상품을 매수하고 만기에 이를 되파는 전략을 취한다. 따라서 이는 Heinkel *et al.*(1990)과 Milonas and Thomadakis(1997)가 전제한 거래 시기에 대한 가정을 완화하여 가격에 따른 거래 시기를 선택하였다. 또한 거래자가 상품을 구매하여 보유함으로써 얻는 가치는 가격이 상승할 때에 판매하였다가 만기에 다시 살 수 있는 옵션과 같은 가치로 보았으며, 이러한 가치로부터 상품의 편의수익을 산출하였다.

1975년부터 2000년까지의 25년의 기간에 걸쳐 구리, 납, 아연의 선물·현물 분기별 가격을 이용하여 편의수익을 구했다. 기존의 보유비용모형을 통해 얻은 편의수익과 그 값을 비교한 결과 거래자의 전략에 기반하여 산출한 편의수익이 정량적·정성적으로 더 설명력이 높은 것으로 나타났다.

## 5. Kocagil(2004)

Kocagil(2007)은 6개의 상품에 대해 일일 편의수익을 조사하였으며 편의수익이 옵션가격결정모형에서 설명될 수 있음을 보였다. 그러나 표준 콜옵션모형의 가정 중 하나가 편의수익을 추정하기에 맞지 않는 부분이 있으므로 대안적으로 교환옵션을 통해 일일 편의수익의 행태를 더 잘 설명할 수 있다는 것을 제시하였다. 편의 수익에 대해 두 가지 가정을 검정하였는데, 첫째는 편의수익이 한계 생산 비용의 증가에 따라 커진다는 것이고, 둘째는 현물의 자기상관 정도에 따라 편의수익이 감소한다는 것이다. 자기상관차수가 늘어날수록 회귀계수의 부호가 바뀌는 것은 시장의 평균회귀에 기인한다. 이는 Heinkel *et al.*(1990)이 제시한 가설을 검증한 것이다.

재고 보유 의사결정은 콜옵션과 닮아 있다. 현재 가격이 구매한 가격과 보유비용의 합보다 크다면 재고를 보유한 가치는 양이 되므로 내가격, 그렇지 않다면 외가격 옵션으로 간주된다. 내가격이 더 커지면 옵션을 행사하고자 하는 유인 즉, 재고를 팔고자 하는 유인이 커지고 옵션의 외가격이 심해지면 상품 가격이 더 오를 때까지 재고를 보유하고 있으려고 한다. 여기서 의사결정은 행사가격과 현재가격을 비교함으로써 이루어지는데, Kocagil(2004)은 기초자산의 기대가격인 행사가격을 확신하기 어렵다는 문제를 지적하며 교환옵션모형을 분석에 사용하였다.

Kocagil(2004)은 Heinkel *et al.*(1990)이 주장한 첫 번째 가설인 편의수익과 한계생산비용 간 양의 상관관계를 분석하였다. 만약 한계생산비용이 상대적으로 높지 않다면 시장에 예상치 못한 수요가 발생했을 때, 생산을 늘려 균형을 찾을 수 있을 것이다. 이러한 시기에서 재고 보유는 이득이 되지 않으므로, 재고 보유로 인한 편의수익은 없다고 볼 수 있다. 하지만 한계생산비용이 높다면 수요충격에 대응할 수 있는 것은 재고뿐이다. 이러한 상품에 대한 제약 때문에 재고를 보유함으로써 얻는 가치, 편의수익은 증가한다. Kocagil(2004)은 생산비용에 대한 데이터를 얻기 어렵기 때문에 크랙 스프레드를 통해 간접적

으로 이 분석을 수행한다.<sup>10)</sup> 크랙 스프레드의 변동은 정유사의 이윤 마진 변화를 뜻하므로, 크랙 스프레드가 줄어드는 것은 이윤 마진 감소, 크랙 스프레드가 커지는 것은 이윤 증가를 의미한다. 이러한 마진의 변동이 비용의 변화에 기인한다고 할 때, 크랙 스프레드는 생산비용의 증감과 연결될 수 있다. 따라서 Kocagil(2004)은 크랙 스프레드를 편의수익에 회귀하는 것이 비용과 편의수익 간 양의 관계 가설에 대한 검증이 된다는 사실을 이용하였다. 스프레드의 변화가 이윤 변화를 의미하므로, 만약 가설이 참이라면 크랙 스프레드와 편의수익 간에 음의 계수가 나타나야 한다.

다음으로, 편의수익의 음의 자기상관관계는 선물 만기 전의 나타나는 높은 현물가격은 선물이 만기가 되더라도 현물가격으로 전달되지 않는다는 것을 뜻한다. 즉 가격의 일시적 상승에 대응하기 위해 재고를 보유하는 것이 선물 등의 계약을 갖고 있는 것보다 낫다는 것이다. 이는 양의 편의수익을 가져오므로 자기상관과 편의수익간의 음의 관계를 검증하였다.

이와 같은 가설들에 대해 첫째로 기존 옵션가격모형과 교환 옵션가격모형을 비교한 결과, 기존 옵션가격모형의 무위험이자율 가정 때문에 기존 옵션가격모형이 편의수익을 과대 추정한다는 결과를 보였다. 둘째로, 크랙 스프레드와 편의수익은 음의 관계를 나타내어 한계생산비용과 편의수익은 양의 관계에 있는 것을 밝혔다. 마지막으로 자기상관과 편의수익은 차수가 증가할수록 부호가 달라지는 것으로 나타났다. 이는 시계열에 평균회귀의 특성이 있는 것으로 볼 수 있다.

---

10) 크랙 스프레드의 변동은 정유사의 이윤 마진 변화를 뜻하게 된다. 크랙 스프레드가 줄어드는 것은 이윤 마진 감소, 크랙 스프레드가 커지는 것은 이윤 증가를 의미한다. 이윤 마진의 변동은 대부분 비용 증감에 기인하며 이는 크랙 스프레드가 생산 비용의 증감을 나타낸다는 것으로 연결된다.

## 6. Chen *et al.*(2006)

Chen *et al.*(2006)은 편익수익을 미국식 스프레드 콜옵션(American spread call option)으로 보고, 이를 추정하기 위한 두 가지 방법을 제시하였다. 첫째는 선·현물가격에 대한 기하학적 브라운 운동 모형(GBM, Geometric Brownian Motion)이며 둘째는 *coupula* 기반의 GARCH 모형이다. 그리고 이 모형들의 비교를 위해 Heaney(2002)의 거래전략모형 또한 분석하였다.

변동성에 대한 베이스스의 민감도를 분석하여 얻은 결과는 다음과 같다. 우선 편익수익의 정보량은 변동성을 가지며 이는 베이스스 거래전략 모형의 분석 또한 지지하는 결과이다. 회귀모형의 절편은 재고의 수요와 공급조건을 반영한다. Chen *et al.*(2006)이 제시한 모형은 기존의 연구 결과와 일치하는 결론을 보였는데, 편익수익이 선물가격 간 베이스스에 영향을 미친다는 것이다. 콜옵션(편익수익)은 현물가격에 대한 볼록함수(convex function)이므로 선물 수익률 분산과 현물 수익률 분산의 비율은 베이스스가 커짐에 따라 감소하게 된다.

## 7. Zulauf *et al.*(2006)

Zulauf *et al.*(2006)은 전통적 저장이론에서 가격 변동성과 Heaney(2002)의 모형을 따르는 옵션성을 고려하여 모형을 고안하였다. 기존의 이론이 단일방정식에 대한 회귀분석이었다면, 본 연구에서는 두 개의 연립방정식을 사용하였다. 분석은 1987년부터 2004년까지의 대두를 대상으로 하며, 모형이 되는 연립방정식은 식 (25)와 같이 3SLS(3 Stage Least Squares)로 추정하였다.

$$\begin{aligned} SU_t &= \alpha_0 + \alpha_1 SCS_t + \alpha_2 PriceRisk_t + \alpha_3 PriceRisk_t^2 + \epsilon_t \\ SCS_t &= \beta_0 + \beta_1 CO_t + \nu_t \end{aligned} \quad (25)$$

$SU_t$ : t 시기의 재고 대 소비 비율

$SCS_t$ : 저장비용 조정된 베이스스

$CO_t$ : 재고의 콜옵션가치

이러한 모형으로부터, 재고 대 소비 비율과 저장비용 조정된 베이스스 간에 정의 상관관계가 있는 것을 밝혔으며 이는 선행연구와 일치하는 결과이다. 이 때, 다음 추수가 다가오면서 가격 변동에 대한 재고 방출량은 점차 비탄력적인 양상을 보이는 것을 확인하였다. 다음으로, 가격 변동성(가격 위험성)이 증가함에 따라 재고 대 소비 비율은 기존보다 약 90퍼센트 수준까지 낮은 최소치에 다다르게 낮아지다 증가하는 것으로 나타났다. 이로써 두 변수 간에 복합적인 상관관계가 있음을 시사했다. 또한 가격 변동성이 증가할수록 기업은 재고로 얻을 수익의 기회가 커지는 것을 뜻하기 때문에 Zulauf *et al.*(2006)는 재고 보유량을 늘리려고 하는 유인에서 이와 같은 현상이 나타나는 것으로도 보았다. 마지막으로, Heaney(2002)의 모형으로 추정한 콜옵션가치와 베이스스의 역의 선형 관계에서 만기 이전의 가격 상승 가능성으로 인해 재고를 보유하는 행태를 확인하였다.

## 8. 박지훈(2007)

박지훈(2007)은 Kocagil(2004)이 제시한 교환옵션모형을 이용하여 2001년부터 2006년까지의 12가지 상품선물의 편익수익을 추정하였다. Kocagil(2004)은 금리의 설명력이 유의하지 않으나 Black-Sholes의 옵션모형에서는 금리가 변수로써 사용되므로, 이를 보완하여 교환옵션모형을 제시하였다. 박지훈(2007)은 이러한 금리의 유의성을 재확인함으로써 콜옵션모형에서 금리가 설명변수로 부적절하다는 결론을 내렸다. 또한 박지훈(2007)이 분석한 시기는 Kocagil(2004)과 다른 시기이나, 여전히 교환옵션모형은 편익수익을 유의하게 설명하는 결과를 보였다. 여기서 편익수익의 절대치가 상이한 이유로써 교환옵션모형의 분포 가정이 실제 시장에서의 선물가격 분포와 다르다는 것을 들었다. 그러나 Kocagil(2004)과 박지훈(2007)의 결과에 차이가 있는 부분은 Kocagil(2004)이 보였던 한계생산원가와 크랙 스프레드간의 관계이다. Kocagil(2004)은 크랙 스프레드와 편익수익의 역의 관계를 보였으나 박지훈의 결과에서는 이와 상반된 분석 결과가 나타났다. 이에 대해 박지훈(2007)은 2000년대의 가격에는 생산원가 이외의 요소가 관여하기 때문인 것으로 보았다. 여기까지의 Kocagil(2004)의 연구 확장에 더하여, 교환옵션모형으로부터 내재현물가격을 계산하였다. 또한 실제 시장가격과 내재현물가격의 차이인 이격률로써 매매전략을 찾는 것이 유효할 수 있음을 보였다.



## 9. Hochradl and Rammerstorfer(2012)

Hochradl and Rammerstorfer(2012)는 유럽 천연가스 허브에서의 편익수익을 추정하였다. 전통적인 저장이론으로부터의 순편익수익뿐만 아니라, 옵션가치모형에 기반하여 룩백옵션(Lookback option)과 아시아옵션(Asian option)으로 편익수익을 추정하고 비교했다. 룩백옵션은 Heaney(2002)의 가정과 거래전략모형에 기초를 둔다. 그러나 이 연구에서는 Heaney(2002)가 ‘거래자들이 최고치 가격에서 재고를 판매한다’고 가정한 것과는 달리 평균 가격에서 거래를 한다고 가정하였다.

분석 대상은 NBP, ZEE, TTF의 2005년부터 2008년까지의 천연가스 가격이다. 세 모형으로 추정한 편익수익의 평균, 중간값, 첨도, 왜도 등을 비교한 결과 아시아옵션 모형의 평균, 중간값, 변동성 등이 룩백옵션 모형에 비해 다소 작게 추정되었다. 룩백옵션으로 볼 때, 재고를 보유함으로써 얻는 이득은 만기가 다가옴에 따라 감소하는 것으로 나타났으나, 아시아옵션 모형으로는 평균 중심으로 변동하는 양상을 보였다. 어느 모형에서나 정상성(stationarity)와 자기상관(autocorrelation), 이분산성(heteroskedasticity)가 나타났다. 또한 편익수익의 기간구조를 통해 만기가 다가올수록 평균과 분산이 점차 증가하는 것을 보였다.

전반적으로 전통적인 저장이론으로 얻은 결과는 두 옵션가치평가모형으로 얻은 결과와 차이가 났다. 두 옵션모형으로 얻은 편익수익의 상관성은 이들 각각 모형이 전통적 방법에 의해 얻은 편익수익과 갖는 상관성보다 크며 심지어 후자는 음의 상관성을 가졌다. 이에 대해 Hochradl and Rammerstorfer(2012)는 전통적 방법은 현물가격과 선물가격의 차이로부터 얻게 되는 결과이지만, 옵션기반 모형들은 변동성, 시간적 특성 등을 함께 고려하기 때문이라고 해석하였다.

## 10. West(2012)

West(2012)의 연구는 Milonas and Thomadakis(1997)의 옵션모형 연구를 확장하여 발전용 탄(thermal coal)의 편익수익을 추정하고 이 결과를 Fama and French(1988)의 모형으로 추정한 결과와 비교하였다. 자료는 2003년부터 2010년까지 리처드 항(Richard Bay) 석탄의 FOB 선도가격과 실제 저장비용을 이용하였다. 옵션모형으로 추정한 편익수익은 Fama and French(1988)의 보유비용모형으로 추정한 편익수익보다 다소 큰 값을 갖는다. Milonas and Thomadakis(1997)를 확장한 모형으로, 발전용 탄의 편익수익은 계절성을 보이면서 경기변동에 영향을 받는 것을 보였다. 또한 재고 수준과 편익수익은 음의 관계를 가지며 재고가 낮을 때에 현물가격이 선물가격보다 더 크게 변동하는 양상을 보였다.

## 제 3 장 편의수익 연구의 종합화

### 제 1 절 편의수익 연구의 기존 분류 정리

편의수익에 관한 연구는 연구의 주제와 방법론에 따라 분류된다. 주제와 관점에 따라 저장이론의 정립과 이에 대한 직접적 검증, 간접적 검증 연구, 옵션가치평가모형을 적용한 편의수익의 연구로 나눌 수 있으며 본 절에서는 선행연구들로부터 이러한 분류의 이유를 찾는다. 각각의 연구들이 바라보는 기존 연구 체계를 살펴보고, 주제에 따른 대표적인 연구와 각 연구별 편의수익에 대한 관점의 차이를 논하고자 한다. 제1절에 근거하여 제2 절에서는 편의수익 및 재고에 관한 연구 흐름을 종합한다.

Fama and French(1988)을 잇는 연구들은 주로 재고에 대한 간접적 검증을 수행하였다. 대표적으로 Cho and McDougall(1990), Gao and Wang(2005), Symeonidis *et al.*(2012)가 있다([표 1]~[표 2]). 공통적으로 저장이론, 저장이론의 직접적 검증 연구, 직접적 검증의 한계 또는 저장이론에 대한 대안적 설명, 저장이론의 간접적 연구로 나눈다. 이와 같은 분류는 저장이론을 검증하는 재고 데이터의 문제와 이를 해소하기 위한 재고 근사치의 사용이 논쟁점이 되면서 체계화되었으며, 그 과정에서 재고 데이터를 사용한 초기 연구와 달리, 재고의 근사치를 사용하는 간접적 검증 연구에서는 가격 변동성이 변수로 등장하게 되었다.

**[표 1] Cho and McDougall(1990)의 연구 분류**

분류	연구
저장의 공급곡선 추정	Working(1948, 1949), Brennan(1958), Telser(1958),
저장이론의 직접적 검증	Telser(1958), Brennan(1958)
재고의 집계 문제	Wright and Williams(1989), Gray and Peck(1981), Thompson(1986)
저장이론의 간접적 검증	Fama and French(1988)

**[표 2] Gao and Wang(2005)의 연구 분류**

분류	연구
저장이론	Kaldor(1939), Working(1948, 1949), Brennan(1958), Telser(1958), Williams(1986), Fama and French(1987, 1988)
저장이론의 직접적 검증	Working(1949), Brennan(1958), Telser(1958), Gray and Peck(1981), Thompson(1986), Lien(1987), Cho and McDougall(1990), Heaney(1998), Anand(2000)
직접적 검증의 한계	Gray and Peck(1981), Weymar(1966), Thompson(1986)
저장이론의 간접적 검증	Fama and French(1988), Cho and McDougall(1990), Ng and Pirrong(1994), Dutt, Fenton, Smith, and Wang(1997)

[표 3] Symeonidis *et al.*(2012)의 연구 분류

분류		연구
저장이론		Kaldor(1939), Working(1948), Brennan(1958), Telser(1958)
편의수익의 옵션성 연구		Milonas and Thomadakis(1997)
재고와 가격변동 성의관 계	저장이론의 간접 적 검증	Fama and French(1987, 1988)
	저장이론의 기타 모형 및 관계에 관한 연구	가격 변동성 관련 기타 모형: Williams and Wright(1991), Deaton and Laroque(1992), Routledge <i>et al.</i> (2000) 재고와 가격 변동상 간 V 형태 관계: Lien and Yang(2008), Kogan <i>et al.</i> (2009)
	저장이론의 직접 적 검증	Geman and Nguyen(2005), Gorton <i>et al.</i> (2007)

다른 연구들과 마찬가지로 이들 연구에도 저장이론의 시초는 Kaldor(1939)로 정하고 있으며, 저장이론의 구체화 및 검증을 Working(1948) 이후로 보고 있다. 특히 Cho and McDougall(1990)([표 1])과 Gao and Wang(2005)([표 2])는 직접적 검증 연구로 Telser(1958), Brennan(1958)을 언급하는데, Gao and Wang(2005)에서는 채고의 근사치 외에 채고 데이터를 직접 분석에 사용하였다는 점에서 기타 여러 연구를 직접적 검증 연구에 포함하였다. 두 연구에서는 직접적 검증 연구에서 간접적 검증 연구가 대두하게 된 연결고리로서 직접적 검증 연구에서 사용하는 채고 데이터의 한계를 지적하고 있다. Wright and Williams(1989), Gray and Peck(1981), Thopson(1986)를 채고 데이터의 집계 시 발생하는 문제에 관한 대표적인 연구로 본다. 이러한 문제에서 Fama and French(1988)가 분석에 채고 데이터 대신 이자율 조정된 베이스(interest-adjusted basis)를 사용하고, 곧바로 Cho and McDougall(1990)이 이를 석유와 가스 에너지원에 적용해 검증하였다. 따라서 간접적 검증 연구는 Fama and French(1988)에서 시작되었으며 이후 다양한 상품에 대해 계절성을 고려하는 등 연구가 발전하게 된다.

Symeonidis *et al.*(2012)([표 3])는 크게 저장이론과 편의수익의 옵션성, 가격 변동성과 채고간의 관계로 분류하면서 가격 변동성을 변수로 하는 연구를 세분하였다. 따라서 Symeonidis *et al.*(2012)이 말하는 저장이론의 직접적 검증 연구는 앞서 두 연구에서 말하는 직접적 검증 연구와 다른 맥락에 있다. Symeonidis *et al.*(2012) 가격 변동성을 변수로 가져오면서 Geman and Nguyen(2005), Gorton *et al.*(2007) 등이 채고 근사치를 사용하지 않았다는 점에서 직접적 검증 연구로 분류한다. 연구자마다의 주관적인 분류와 연구가 달라지지만, Fama and French(1988)를 잇는 연구들은 Cho and McDougall(1990)의 프레임을 따르는 것을 알 수 있다.

Fama and French(1988) 방법론의 연장선상에 있는 연구들 중에서도 위

와 다른 관점에서 선행연구를 분류하는 논문들은 [표 4]부터 [표 6]에 나타나 있다. Geman and Ohana(2009)는 가격 변동성을 변수로 하는 연구에 초점을 맞추었고, Stronzik *et al.*(2009)는 Fama and French(1988)의 방법론에서 이어지는 Cho and McDougall(1990), Ng and Pirrong(1994)과 같은 연구를 그룹화 하였다. 한편, 직·간접적 검증 연구와 함께 동시기에 편의수익의 행태에 대한 모형 연구가 진행되고 있었는데, Volmer(2012)는 Gibson and Schwartz(1990), Schwartz(1997), Schwartz and Smith(2000)과 같은 연구들을 축약모형(reduced-form models) 관련 연구로 분류하였다.

Stronzki *et al.*(2009)([표 5])와 Volmer(2012)([표 6])에서 찾을 수 있는 특징점은 최근 논문에서 천연가스 시장의 편의수익에 대해 활발하게 다루고 있다는 것이다. 앞서 Geman and Ohana(2009)([표 4]) 또한 석유와 천연가스의 편의수익을 비교하고 있다. 이는 최근 천연가스가 셰일가스 등으로 인해 이슈화되면서 에너지 분야 내에서의 연구 주제가 석유에서 천연가스로 이동하는 경향을 반영한다.

[표 4] Geman and Ohana(2009)의 연구 분류

분류	연구
저장이론	Kaldor(1939), Working(1948, 1949), Telser(1958), Brennan(1958)
재고와 가격 변동성 간의 관계	Working(1948, 1949), Fama and French(1987, 1988), Williams and Wright(1991), Ng and Pirrong(1994), Deaton and Laroque(1992), Geman and Nguyen(2005)

[표 5] Stronzik *et al.*(2009)의 연구 분류

분류	연구
저장이론	Working(1949), Brennan(1958)
편의수익의 특성	French(1986), Fama and French(1987, 1988), Cho and McDougall(1990), Ng and Pirrong(1994)
저장이론의 천연가스에의 적용	Sasmel and Thompson(1997), Wei and Zhu(2006), Dincerler <i>et al.</i> (2005), Khan <i>et al.</i> (2005), Serletis and Shahmoradi(2006), Modjtahedi and Movassagh(2005), Haff <i>et al.</i> (2008)



[표 6] Volmer(2012)의 연구 분류

분류	연구
축약 모형 (reduced-form models)	Gibson and Schwartz(1990), Schwartz(1997), Schwartz and Smith(2000)
저장이론	Kaldor(1939)
천연가스 시장에서의 편의수익	Dincerler, Khokher, and Simmin(2005), Modjtahedi and Movassagh(2005), Wei and Zhu(2006), Cartea and Williams(2008), Haff, Lindqvist, and Loland(20008), Stronzik, Rammerstorfer, and Neumann(2008)

편의수익의 옵션성에 관한 연구들은 출발점이 되는 논문을 명확히 분류하고 있다. Chen *et al.*(2006)([표 7]), Zulauf *et al.*(2006)([표 8]), Kocagil(2004)([표 9]), Hochradl and Rammerstorfer(2012)([표 10])은 공통적으로 Heinkel *et al.*(1990)과 Milonas and Thomadakis(1997)를 언급한다. Heinkel *et al.*(1990)은 편의수익이 옵션으로 취급된다는 주장에 대한 가설과 이론을 제시하였고, Milonas and Thomadakis(1997)는 가설을 검증하였다. 이후 등장하는 옵션성에 관한 연구들은 두 연구에서 발전한다. Kocagil(2004)와 West(2012)는 앞서 제시된 방법론과 가설을 검증하므로 직접적인 연관성을 갖는다. 그러나 Heaney(2002)는 편의수익의 옵션성에 바탕을 두고, 거래전략을 고려하여 Lonstaff(1995)의 모형을 접목한 새로운 모형을 고안하였다. 따라서 Heaney(2002)의 모형에서 발전, 확장하는 Chen *et al.*(2006), Zulauf *et al.*(2006) Hochradl and Rammerstrofer(2012)은 Heaney(2002) 또한 옵션성 연구에 포함하고 있다.

[표 7] Chen *et al.*(2006)의 연구 분류

연구	분류
저장이론	Kaldor(1939), Working(1949), Brennan(1958)
베이스시스와 수요·공급 간 관계	French(1986), Fama and French(1987, 1988), Ng and Pirrong(1994)
편의수익의 옵션성 연 구	Milonas and Thomadakis(1997), Milonas and Henker(2001), Heaney(2002)
편의수익의 평균회귀 과정 모형	Schwartz(1990, 1997), Miltersen and Schwartz(1998), Hilliard and Reis(1998)

[표 8] Zulauf *et al.*(2006)의 연구 분류

연구	분류
저장이론(편의수익 고안)	Kaldor(1939)
저장의 공급곡선 추정	Working(1948, 1949), Telser(1958), Brennan(1958), Gray and Peck(1981), Thompson(1986)
편의수익의 옵션성 연구	Bresnahan and Spiller(1986), Milonas and Thomadakis(1997), Heinkel, Howe and Hughes(1990), Heaney(2002)
편의수익의 기타 의미에 대한 연구(역조시장에서의 재고보유에 대한 대안적 관점) <sup>11)</sup>	Wright and Williams(1989), Brennan <i>et al.</i> (1997), Frechette and Fackler(1999)

편의수익의 옵션성에 관한 연구는 현재까지도 모형의 다양화를 피하며 활발하게 진행되고 있는 분야이다. 따라서 앞서 직·간접적 검증 연구와 달리 모형에 따라 Heinkel *et al.*(1990), Milonas and Thomadakis(1997) 계열과 Heaney(2002) 계열로 분리하여 이후에 등장하는 연구들을 연결해 나갈 수 있다.

<sup>11)</sup> Zulauf *et al.*(2006)은 편의수익이 포함하는 의미에 따라 다음과 같이 연구를 구분하였다. 비선형적 생산비용(Williams, 1987; Wright and Williams, 1989), 운송비용을 포함한 비선형적 재고판매비용(Bobenreith, Bobenreith and Wright, 2004), 지리적 특성으로 인한 운반비용(Benirschka and Binkley, 1995; Brennan, Williams and Wright, 1997; Frechette and Fackler, 1999), 재고를 보유하고 처리하는 전환비용(Chavas, Despines and Fotenbery, 2000), 위험회피적 저장기업의 경쟁(Chavas, 2000), 정보의 비대칭성(Frechette, 1999, 2001; Khoury and Martel, 1989), 양의 콜옵션가치(Litzenberger and Rabinowitz, 1995)

[표 9] Kocagil(2004)의 연구 분류

분류	연구
저장이론	Brennan(1958), Telser(1958)
편의수익의 옵션성 연구	Milonas and Thomadakis(1997), Heinkel, Howe, and Huges(1990)

[표 10] Hochradl and Rammerstorfer(2012)의 연구 분류

분류	연구
저장이론	
저장이론의 정리	Pindyck(1993, 2001)
편의수익의 옵션성 연구	Heinkel <i>et al.</i> (1990), Milonas and Thomadakis(1997), Heaney(2002)

## 제 2 절 편의수익 연구의 체계화

편의수익에 관한 연구는 상품의 현물가격이 선물가격보다 높은 역조시장(backwardation)과 음의 보유비용(inverse carrying charge)의 문제로부터 출발한다. 보유비용(carrying charge)이란 만기가 다른 두 선물 간의 가격 차이(Working, 1948) 또는 선물과 현물가격간의 차이를 말한다. 음의 보유비용은 근월물(현물) 가격이 원월물(선물) 가격보다 높을 때에 발생하며, 이는 역조시장을 의미한다.

이러한 선물과 현물가격간의 관계에 대한 논의의 시작은 Keynes(1930)으로부터이다. Keynes(1930)의 정상적 역조시장(Normal backwardation)<sup>12)</sup> 이론은 기대 현물가격(expected spot price)과 선물가격에 초점을 맞춘다. Keynes(1930)는 불확실성의 헷지하려는 목적으로 생산자가 선물을 매도함으로써 만기 이전에 기대 현물가격이 선물가격보다 높은 현상이 나타나며, 이들 관계는 위험 프리미엄(risk premium)으로 연결된다고 설명한다. 즉, 선물 매도자(생산자)의 위험을 선물 매수자가 감수하므로 위험 프리미엄을 요구하기 때문에 기대 현물가격이 선물가격보다 위험 프리미엄만큼 큰 값을 갖는다(Kaldor, 1939; Bhar and Lee, 2011).<sup>13)</sup>

반면 Kaldor(1939)는 현재의 현물가격과 선물가격의 관계에 있어 재고의 역할에 초점을 맞추어, 음의 보유비용이 발생하는 것을 설명하기 위해 편의수익(convenience yield)을 도입하였다(Brennan, 1958). Kaldor(1939)가 정의한

---

<sup>12)</sup> Working(1948), Keynes' explanation of "normal" inverse carrying charges, commonly referred to as his "theory of normal backwardation," ran as follows: If supply and demand are balanced, the spot price must exceed the forward price by the amount which the producer is ready to sacrifice in order to "hedge" himself, i.e. to avoid the risk of price fluctuations during his production period. Thus in normal conditions the spot price exceeds the forward price i.e. there is backwardation. In other words, the normal supply price on the spot includes remuneration for the risk of price fluctuation during the period of production, whilst the forward price excludes this(Keynes, 1930).

<sup>13)</sup> 선물가격과 기대 현물가격 관계를 설명하는 리스크 프리미엄 이론 및 정상적 역조시장 이론은 부록의 [표 5]에서 정리하였다.

편의수익이란, 상품의 재고로 인해 재고 보유자가 보상으로 얻게 되는 편익으로써 적정 보유비용(carrying cost proper)에서 편의수익을 빼 순 보유비용(net carrying cost)을 구한다.<sup>14)</sup> 따라서, 순 보유비용은 적정 보유비용과 편의수익의 크기에 따라 양의 값을 가질 수도, 음의 값을 가질 수도 있게 된다.

Working(1948)은 음의 보유비용을 설명하는 기존의 이론들을 고찰하고, 보유비용을 저장가격(price of storage)으로 보았다. 저장된 재고의 양과 저장가격으로부터 재고의 공급곡선을 도출함으로써 음의 보유비용 또한 양의 보유비용과 함께 시장에 의해 결정된다고 설명하였다. 그의 공급곡선에 의하면 저장가격이 낮을 때에는 재고의 양이 적고, 저장가격이 증가함에 따라 재고의 양 또한 증가한다. 따라서 저장가격 즉, 보유비용은 재고의 수준과의 관계에서 음 또는 양으로 나타나게 되며, 현물가격과 선물가격은 이러한 보유비용의 부호에 따라 정상시장인지 역조시장인지를 결정한다.

Working(1949)은 동시기의 선·현물가격 관계(inter-temporal price relation)가 재고의 양 및 보유비용으로 결정된다는 주장을 심화시켰다. 재고의 소진 가능성을 전제할 때, 원월물과 근월물 만기 차이만큼 재고를 보유하면서 원월물 가격이 더 크면 저장가격은 양의 값이 되며 재고 보유자는 직접적 이득을 얻게 된다. 그러나 이러한 직접적 이득이 보장되지 않는 음의 저장가격(역조시장: 현물가격이 선물가격보다 높은 경우)에도 재고를 보유하는 현상이 나타나는데 Working(1949)는 재고를 보유하고 있음으로 얻는 편익인 편의수익이 존재하기 때문인 것으로 설명하였다. 이상의 Kaldor(1939), Working(1948, 1949)의 이론은 저장이론(Theory of storage)이라 불리며 (Brennan, 1958; Heinkel *et al.*, 1990; Milonas and Thomadakis, 2001; Symeonids *et al.*, 2012), 상품의 선물·현물가격 예측 및 재고 연구 등의 기초

<sup>14)</sup> Kaldor(1939), The net carrying cost also depends on a third factor: the yield of goods. In normal circumstances, stocks of all goods possess a yield, measured in terms of themselves, and this yield which is a compensation to the holder of stocks, must be deducted from carrying costs proper in calculating net carrying cost.

가 되고 있다.

이후, 저장이론은 농산품을 중심으로 검증이 이루어졌으며, Brennan(1958)과 Telser(1958)의 연구는 대표적인 직접적 분석 연구로 분류된다(Cho and McDougall, 1990; Gao and Wang, 2005). Brennan(1958)은 저장이론을 저장 재고에 대한 수요와 공급의 관점에서 일반화하고, 저장의 공급곡선을 도출하였다. 그리고 1924년부터 1932, 1938년의 기간 동안 달걀, 치즈, 버터, 밀, 귀리의 재고 수준과 베이스스의 관계를 회귀분석하여 공급곡선을 확인하였다. Telser(1958)는 저장에 대한 수요자와 공급자의 균형에 의해 재고량과 저장가격이 결정되는 것을 보이면서 목화와 밀의 계절적 재고와 베이스스를 분석하였다. 이는 Keynes(1930)과 Hicks(1939)가 주장한 기대현물가격과 선물가격 간의 관계<sup>15)</sup>를 반박하고 비편향 추정량임을 밝힘으로써 한계저장비용과 한계편의수익, 재고간의 관계를 구체화하였다.

그러나 재고 데이터를 변수로 사용하는 이러한 직접적 검증 연구는 재고 자료의 범주와 집계에 있어 한계가 있다(Fama and French, 1988; Gao and Wang, 2005; Carbonez *et al.*, 2010). 베이스스와 관계가 있는 재고가 무엇인지에 대한 물음은 Gray and Peck(1981)과 Thompson(1986) 등에 의해 제기되었다. 이에 대해 Wright and Williams(1989)는 유사 상품의 개별 재고 단위에서는 나타나지 않는 음의 베이스스와 재고 간 관계가 재고를 총합했을 시에는 나타남을 증명하였다. 이는 데이터의 집계(data aggregation)로 불린다. 이러한 맥락에서 Benirschka and Binkley(1995)와 Brennan *et al.*(1997), Frechette and Fackler(1999)는 재고의 지역별 분산이 상품 가격의 베이스스에 영향을 미친다는 것을 보였다.

따라서 재고 데이터의 한계를 극복하기 위하여 Fama and French(1988)는 재고 데이터를 변수로 직접 사용하는 대신, 이자율 조정된 베이스스(IAB,

---

<sup>15)</sup> 기대현물가격은 선물가격보다 높으며 선물가격은 기대현물가격에 대한 편향 추정량으로써 만기가 다가올수록 증가한다

interest-adjusted basis)를 재고의 근사치로써 이용하는 간접적 검증 방법을 제시하였다.<sup>16)</sup> IAB를 재고에 대한 근사치로써 사용할 수 있는 이유는 재고의 수준이 높고 낮음에 따라 IAB의 부호가 결정되기 때문이다. 재고의 수준이 높을 때에는 한계편의수익이 낮아 IAB가 양의 값을 갖고, 재고의 수준이 낮을 때에는 한계편의수익이 높아져 그 부호가 음이 된다. 특히 IAB는 가격과 이자율이라는 변동이 큰 두 시계열에 대해 가격 변화를 백분율로 나타냄으로써 분석에 미치는 변동의 영향을 줄일 수 있다(Gray and Peck, 1981). 또한 이 IAB는 저장비용과 편의수익의 차를 나타낸다(Geman and Ohana, 2009; Symeonidis *et al.*, 2012).

Fama and French(1988)는 이러한 IAB를 재고의 근사치로 사용하여, 재고의 수준이 낮을 때에는 현물가격이 선물가격에 비해 변동성이 크고, 재고의 수준이 높을 때에는 두 가격의 변동성이 비슷하다는 가설을 제시하였다. 이는 저장이론 및 직접적 검증 연구의 연장선상에 있다. 이자율 조정된 베이스스를 재고의 근사치로 사용하는 것부터 재고의 수준에 따라 편의수익의 높낮음이 결정되어 선·현물가격의 부호가 결정되는 논리를 이용하는 것이다. Fama and French(1988)은 여기서 나아가, 재고의 수준이 높을 때에는 재고의 변화에 따른 편의수익 변화가 크지 않으므로 이자율 조정된 베이스스의 변동이 크지 않고, 재고의 수준이 낮을 때에는 재고의 작은 변화에도 편의수익 변화가 큰데다 현물가격에 직접적으로 영향을 주기 때문에 변동성이 커진다는 논리를 제시하였다. 경기변동과 재고의 관계 설명을 위해 알루미늄, 구리, 납, 아연, 주석을 대상으로 분석하여 가설을 입증하였다.

Cho and McDougall(1990)은 Fama and French(1988)의 방법론을 원유, 휘

---

<sup>16)</sup> Cho and McDougall(1990), Gao and Wang(2005), Symeonidis *et al.*(2012)는 Fama and French(1988)의 연구를 재고에 대한 추정치를 이용하므로 간접적 방법(indirect test)이라고 분류하였다. Symeonidis(2012)는 재고와 가격 변동성의 관계를 설명하는 연구로써 Fama and French(1987)을 함께 언급했고, Gao and Wang(2005)는 Cho and McDougall(1990), Ng and Pirrong(1994), Dutt, Fenton, Smith and Wang(1997)의 연구를 함께 열거하였다.



발유, 난방유에 적용하여 재고의 근사치인 IAB의 부호에 따라 그 표준편차를 비교하였다. 뿐만 아니라 IAB와 재고의 관계를 회귀분석하는 직접적 분석 또한 수행하였다. 이들 에너지를 직접적 검증을 통해 분석한 결과는 저장이론을 만족하였다. 그러나 Fama and French(1988)의 방법에 대해 휘발유와 난방유는 만족하나 원유는 그 관계가 약하게 나타나는 것으로 에너지원간 특성을 비교하였다.

Geman and Ohana(2009)도 석유와 가스를 비교하며 직접적 검증과 함께, IAB의 값과 변동성이 계절 및 재고 수준에 따라 음의 상관관계를 갖는지 면밀히 분석하였다. 또한 저장이론을 가장 잘 설명하는 재고를 밝히기 위해 지역별, 단계별로 다른 재고를 대상으로 분석을 반복하였다. Symeonidis *et al.*(2012)는 21개의 상품에 대해 같은 분석을 하면서 Geman and Ohana(2009)와 같이 IAB의 값, 변동성 간 회귀분석을 수행하였다. 뿐만 아니라 IAB와 가격 변동성 간 음의 관계가 정상시장일 때 크게 나타나는지, 역조시장일 때 크게 나타나는지 또한 알아보았다. Stronzik *et al.*(2009)는 유럽 주요 천연가스 허브의 가격과 재고에 Fama and French(1987, 1988)의 방법을 적용해 세 허브의 계절성과 차익거래기회를 분석하였다.

이렇듯 직접적 검증에 Fama and French(1988)의 간접적 검증 방법이 함께 수행되는 가운데, 저장이론의 간접적 검증에 대한 새로운 모델을 제시하는 연구가 등장하고 있다. Gao and Wang(2005)는 ARMAX-비대칭 GARCH모형을 통해 저장이론의 직·간접 분석을 통합하여 검증하는 방법(unified test)을 제시하였다. 그리고 이 모형을 9종의 광물에 적용하여 재고와 변동성 간의 비대칭적 관계를 비교하였다. 반면, Volmer(2011)은 Fama and French(1987, 1988)가 제시한 모형에 온도 변수를 함께 고려하여 재고뿐만 아니라 온도 또한 편의수익을 결정하는 중요한 변수임을 밝혔다. 이로부터 가스 편의수익의 특징과 석유와 가스의 편의수익 간 영향을 고찰하였다.

그러나 이제까지의 연구에서 편의수익은 저장이론을 만족하는 잔차에 불과하며, 실제 시장이 저장이론의 전제조건을 만족하지 않는 경우가 발생한다. 따라서 편의수익을 측정하는 직접적인 방법을 찾고자 하는 시도가 있었다. 그 과정에서 매입과 매도 시 나타나는 재고의 특성으로부터 편의수익이 갖는 옵션성 및 옵션가치를 고안하는 연구가 등장하게 된다(Hochradl and Rammerstorfer, 2012). 재고의 옵션성을 연구하는 대부분의 연구는 Heinkel *et al.*(1990)과 Milonas and Thomadakis(1997)의 연구를 시초로 본다(Heaney, 2002; Zulauf *et al.*, 2006; Kocagil, 2004; Hochradl and Rammerstorfer, 2012).

Heinkel *et al.*(1990)은 재고 소진 가능성이 있을 경우에 재고는 옵션성을 갖게 되며, 편의수익은 옵션가치로 취급될 수 있다고 주장하였다. 이러한 콜옵션의 가치는 재고의 수준과 음의 상관관계를 가지며, 편의수익이 해당 상품의 한계생산원가와는 정의 관계, 자기상관계수와는 음의 관계를 갖는다는 가설을 제안하였다. Milonas and Thomadakis(1997)는 Heinkel *et al.*(1990)의 가설을 검증하면서 수요 충격에 의해 높은 가격에 재고를 판매할 가능성이 있을 때의 콜옵션의 가치를 Black-Scholes(1973)의 모형을 통해 추정하였다. 이 연구는 옵션가치와 상품 가격과의 관계, 변동성과의 관계, 만기 사이클 내에서의 옵션가치의 변화 등을 통하여 편의수익으로써 옵션가치의 성격을 정량적으로 확인하였다.

Heinkel *et al.*(1990)의 연구는 Kocagil(2004)의 연구로 이어진다. Kocagil(2004)는 교환옵션모형으로 편의수익을 추정하고, 편의수익과 한계생산비용 및 자기상관 관계를 분석하였다. 원유, 난방유, 휘발유, 밀, 옥수수, 구리를 비교하여 사이클 내에서 옵션가치를 또한 관찰함으로써 재고의 계절성과 편의수익의 변화 또한 살펴보았다. 박지훈(2007)은 Kocagil(2004)에서 기간 및 상품군을 확장하여 재분석하였으며 편의수익의 옵션가치를 연구한 것으로

는 국내에서 유일하다. 한편, West(2012)는 Milonas and Thomadakis(1997)의 옵션성 연구를 석탄의 재고 및 편익수익에 적용하였다는 점에서 차별화된다.

Heaney(2002)는 상품을 구매하고 보유하는 가치를 옵션 가치로 보았다는 점에서는 이전의 연구들과 같은 맥락에 있으나, Longstaff(1995)의 모형으로부터 편익수익을 산출하는 방법을 고안하였다. 이 연구는 매도자인지 매수자인지에 따라 거래가격과 거래시점이 달라진다는 거래전략을 고려했다는 점에서 의의가 있다.

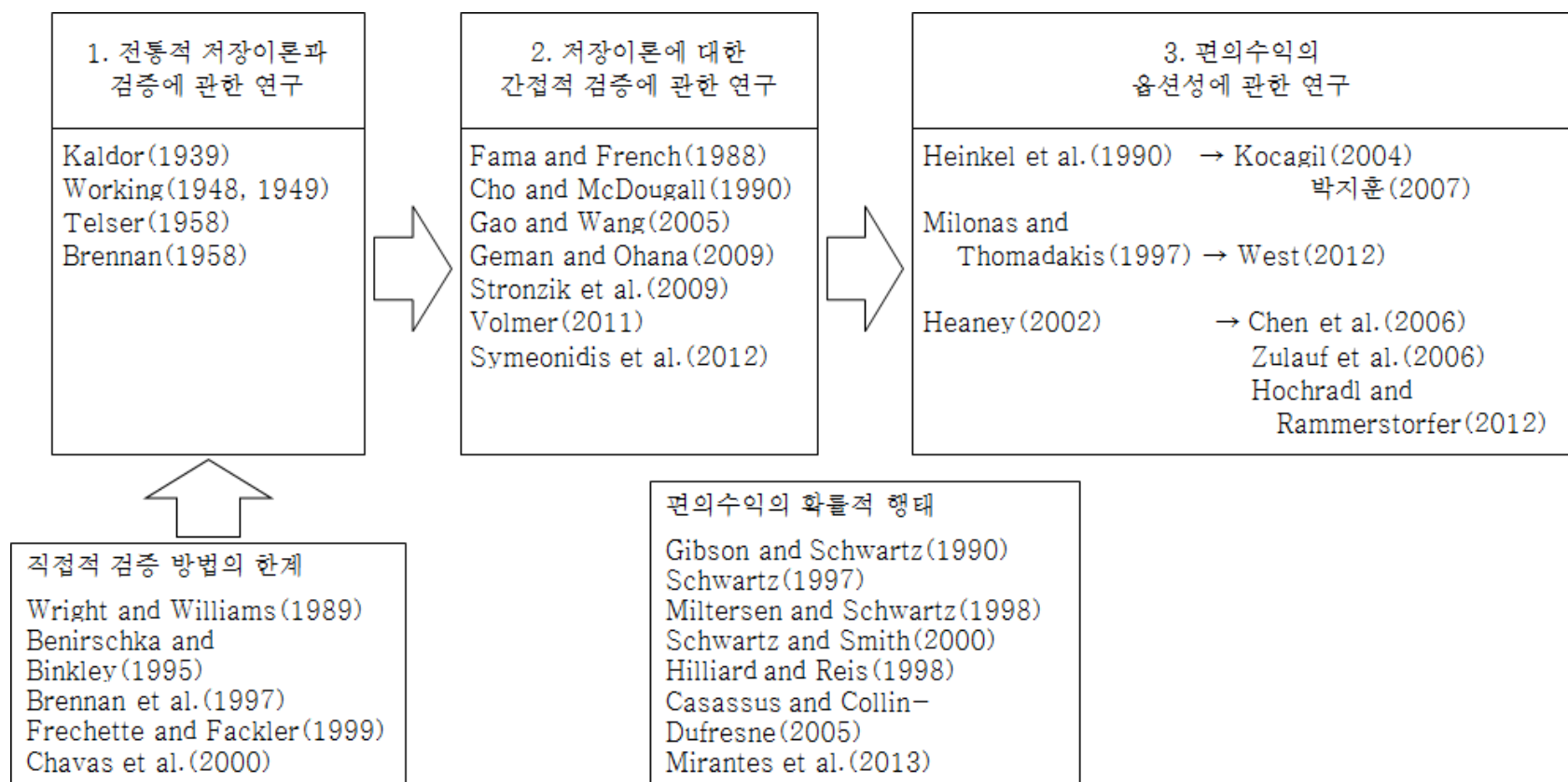
이후 Heaney(2002)의 연구는 Chen *et al.*(2006), Zulauf *et al.*(2006), Hochradl and Rammerstorfer(2012) 등에 의해 다양한 모형들로 발전하였다. Zulauf *et al.*(2006)은 Heaney(2002)의 방법을 사용해 편익수익을 추정하면서 재고에 따른 변동성을 분석하였다. Chen *et al.*(2006)은 Heaney(2002)의 주장에 의문을 제기하며 미국식 콜옵션 모형과 colupa 기반의 GARCH(1,1) 모형을 통해 편익수익을 추정하였다. Hochradl and Rammerstorfer(2012)는 전통적 편익수익 산출방법과 아시아 옵션가격 결정모형을 Heaney(2002)의 방법과 비교해 유럽 천연가스에 적용하였다.

한편, 이러한 옵션가격 결정모형을 통해 분석하기 위해서는 분석하는 시계열에 대한 동적 확률과정이 정립되어야 한다(이인석, 2000). Gibson and Schwartz(1990), Schwartz(1997), Miltersen and Schwartz(1998), Schwartz and Smith(2000) 등 연구에서 제시하는 확률 과정에서 편익수익은 평균회귀(mean-reverting)의 성격을 지니며 선물가격과 현물가격을 연관시켜주는 변수로써 다루어진다(이인석, 2000; Chen *et al.*, 2006; Volmer, 2011). Casassus and Collin-Dufresne(2005)와 Mirantes *et al.*(2013)은 편익수익의 행태에 관한 연구를 잇는다. 그러나 이들 연구는 편익수익이 갖는 경제적 의미보다는 시계열적 행태에 초점이 맞추어져 있다는 점에서 이전의 연구들과 줄기를 달리한다. Volmer(2011) 수요와 공급에 따른 경제적 현상에 기반을 둔 것이 아

나라 외생적인 확률 과정에 의해 세워진 모형으로 가격을 예측함에 있어 경제적 의미를 연결 짓기 어렵다고 평가하였다. 또한 Ribeiro and Hodges(2004)는 확률모형으로는 편의수익이 상품가격 변동성과 재고 간 관계에 개입하는 것을 충분히 설명하지 못하며 특히 에너지 상품에 있어서 비효율적인 모형이라고 주장하였다(Volmer, 2011).

그 외, Pindyck(2001)은 상품 시장과 재고 시장의 관계에서 편의수익의 역할을 총정리 하였다. Pindyck(2004)는 재고 방출과 생산 간의 트레이드-오프 관계를 제시했고, Kuper(2012)는 Pindyck(2004)에 기반을 두어 휘발유 가격과 원유 재고간의 비대칭성을 결정하는 변수로써 편의수익을 도입하였다. 이인석(2000)의 연구는 옵션가격 결정이론을 자원개발 평가방법에 적용하면서 편의수익을 산출하고, 이러한 옵션가격 결정과정에 전제가 되는 시계열이 확률과정을 면밀히 조사하였다. Carbonez *et al.*(2007)는 지난 연구들 중 큰 논쟁점이 되었던 전통적 검증 방법, 재고의 집계 문제를 옵션성과 연결하였다. 여기까지의 주된 연구 흐름은 <그림 7>에 요약하였다.

10년 이내의 연구 추세를 살펴보면 연구는 편의수익의 옵션가치 관점에서는 옵션가격 결정모형을 다양화하는 추세로 발전하고 있다(Chen *et al.*, 2006; Zulauf *et al.*, 2006; 박지훈, 2007; Hochradl and Rammerstrofer, 2012). 또한 선·현물가격관계 및 편의수익 연구가 농산품과 광물을 중심으로 하였으나 최근 에너지원에 대해서는 석유와 천연가스의 경제적 특성 비교(Geman and Ohana, 2009; Kucher and Kurvo, 2012)와 천연가스 연구(Stronzik *et al.*, 2009; Volmer, 2011; Hochradl and Rammerstorfer, 2012)가 활발하게 행해지는 추세이다. <표 1>~<표 5>는 학회지별로 재고 또는 편의수익 연구를 분류하여 정리하였다.



<그림 7> 저장이론 및 편익수익 연구의 흐름

## 제 4 장 에너지 · 자원의 편의수익 추정 및 가설 검정 모형

### 제 1 절 분석 자료

분석 기간은 2000년 1월부터 2003년 7월까지로, 일별 자료를 월별로 가공하였다. 1980년대와 1990년대를 포함하는 선행 연구와 달리 원자재 가격의 상승세가 있었던 2000년대에 초점을 맞추어 분석하고자 하였다. 분석 대상은 WTI와 Brent 원유, 헨리허브 천연가스, 철, 알루미늄, 아연, 구리 7종이다. WTI와 Brent 원유는 지역별 원유의 기준이 되는 벤치마크 원유이며 헨리허브 천연가스는 시장에 의해 가격이 결정되는 대표적인 천연가스이다. 광물 중 철, 알루미늄, 아연, 구리는 Fama and French(1988)가 귀금속인 금, 백금, 은과 구별되는 산업용 금속으로 선정하였으며 이후 연구들에서 분석 대상이 되어왔으므로 시기별 변화를 비교하기 위해 선정하였다. 모든 상품은 선물 3개월물이며, 재고량은 월말 재고량으로 로그를 취하여 사용하였다.

WTI유와 Brent유의 선물과 현물가격은 미국 에너지 정보청(EIA, Energy Information Administration)에서 제공하는 자료이며 WTI유에는 미국의 원유 및 석유제품 재고량을, Brent 원유에는 데이터스트림에서 제공하는 OECD 유럽의 재고량을 사용하였다. 헨리허브 천연가스 선물과 현물가격, 천연가스 재고량<sup>1)</sup>은 EIA 자료이다. 광물 4종의 가격 및 재고량은 모두 데이터스트림에서 제공하는 런던금속거래소(LME, London Metal Exchange)의 자료이다. 철은 Tin 9985 상품, 알루미늄은 Aluminium 99.7 상품, 아연은 SHG Zinc 99995 상품, 구리는 Copper Grade A 상품이다. 각각의 재고량은 LME에서 기록하고 있는 재고량이다.

---

<sup>1)</sup> U.S. Total Natural Gas in Underground Storage(Working Gas)

## 제 2 절 에너지·자원의 편익수익 및 재고 주요 분석 방법론

에너지 상품을 대상으로 편익수익을 추정하여 분석한 정량적 연구는 [표 11]과 같다. Fama and French(1988)부터 Symeonidis *et al.*(2012)까지의 연구는 편익수익을 IAB로 추정하였다. Fama and French가 산업용 금속 및 귀금속에 적용한 간접적 방법을 Cho and McDougall(1990)이 원유, 휘발유, 난방유에 대해 적용하였다. Gao and Wang은 Fama and French가 분석한 상품을 대상으로 직접적, 간접적 분석을 하고 통합적 검증 방법(unified test)를 고안하였다. Geman and Ohana(2009)는 IAB를 추정하고 직접적, 간접적 검증을 통해 원유와 천연가스의 계절적 재고의 특성을 비교하였으며 Kucher and Kurov(2012)는 원유, 휘발유, 난방유, 프로판, 천연가스로 상품을 확대하였다. Symeonidis *et al.*(2012)는 다양한 상품과 함께 에너지 상품의 IAB를 비교하고 검증하였다.

유럽 천연가스 허브인 NBP, ZEE, TTF의 가격을 대상으로 Stronzik *et al.*(2009)는 IAB를 추정해 간접적 방법을 이용한 반면, Hochradl and Rammerstorfer(2012)는 옵션가치 평가모형까지 도입함으로써 IAB와의 결과를 비교하였다. 이와 같이 IAB와 옵션가치 결과를 비교한 것으로는 Hochradl and Rammerstorfer(2012)의 연구가 유일하다고 할 수 있다.

Milonas and Thomadakis(1997)을 시작으로 West(2012)까지는 옵션가치 모형을 통해 편익수익을 추정하고 다양한 가설을 검증하였다. Milonas and Thomadakis가 구리를 포함한 것은 계절적 주기가 있는 농산품과의 비교를 위한 것이며, Heaney(2002)는 광물만을 대상으로 하여 발전된 모형을 제시하였다. Kocagil(2004)은 원유, 난방유, 휘발유와 구리의 에너지·자원과 농산품을 함께 고려하여 가설을 검증하였다. Chen *et al.*(2006)은 원유만 대상으로 방법론을 발전시켰으며, West(2012)는 이전까지 분석되지 않았던 석탄으로 Milonas and Thomadakis의 방법을 적용 시도하였다.

[표 11] 에너지 상품 연구의 편의수익 추정 및 검증 방법론

연구	상품	방법론
Fama and French(1988)	산업용 금속(알루미늄, 구리, 납, 철, 아연), 귀 금속(금, 백금, 은)	IAB
		간접적 검증
Cho and McDougall(1990)	원유, 휘발유, 난방유	IAB
		직접적, 간접적 검증
Gao and Wang(2005)	알루미늄, 구리, 납, 철, 아연, 니켈, 금, 은	IAB
		직접적, 간접적 검증 외
Geman and Ohana(2009)	원유, 천연가스	IAB
		직접적, 간접적 검증
Stronzik <i>et al.</i> (2009)	유럽 천연가스 (NBP, ZEE, TTF)	IAB
		간접적 검증
Kucher and Kurov(2012)	원유, 휘발유, 난방유, 프로판, 천연가스	IAB
		직접적, 간접적 검증
Symeonidis <i>et al.</i> (2012)	원유, 난방유, 천연가스, 알루미늄, 구리, 금, 은, 철 외	IAB
		직접적, 간접적 검증
Milonas and Thomadakis(1997)	구리 외	옵션가치
		직접적, 간접적 검증 외
Heaney(2002)	구리, 납, 아연	옵션가치
		직접적, 간접적 검증 외
Kocagil(2004)	원유, 난방유, 휘발유, 구리 외	옵션가치
		직접적, 간접적 검증
Chen <i>et al.</i> (2006)	원유	옵션가치
		추정 결과 비교
West(2012)	석탄	옵션가치
		직접적, 간접적 검증
Hochradl and Rammerstorfer(2012)	유럽 천연가스 (NBP, ZEE, TTF)	IAB, 옵션가치
		추정 결과 비교

주: 1) 방법론 항목의 윗편은 편의수익 및 재고 근사치 추정 방법, 아래편은 주요 분석 방법론이다.

2) NBP(National Balancing Point in the UK), TTF(Dutch Title Transfer Facility), ZEE(Zeebrugge in Belgium)



### 제 3 절 에너지·자원의 편의수익과 재고 간 관계 분석 모형

Fama and French(1987, 1988)이 세운 보유비용모형은 식 (26)과 같다.

이는 선물가격과 현물가격의 차가 이자비용과 저장비용의 합에서 한계편의수익을 제한 값으로 이루어짐을 뜻한다.

$$f_{t,T} - s_t = s_t r_{t,T} + w_{t,T} - c_{t,T} \quad (26)$$

$f_{t,T}$ : 만기가 T인 t시기의 선물가격

$s_t$ : t시기의 현물가격

$r_{t,T}$ : t부터 T까지의 이자율

$w_{t,T}$ : 한계저장비용

$c_{t,T}$ : 한계편의수익

위 식에서 측정하기 어려운 한계저장비용을 제외하고 이자비용만 포함하여 아래와 같은 이자율 조정된 베이스스(Interest-adjusted Basis, IAB)로 변형할 수 있다. Fama and French(1988)와 Symeonidis *et al.*(2012) 등에서는 저장이론에 기반을 두어 식 (27)과 같은 IAB를 재고의 근사치로 사용하였으며 Geman and Ohana(2009)는 수익곡선의 기울기를 근사하는 값으로 이용하였다. IAB는 역조시장과 정상시장을 나타낼 때, 퍼센트로 표시되므로 단위가 없다는 점에서 편리하다.

$$IAB_t = \frac{f_{t,T} - (1 + r_{t,T})s_t}{s_t} \quad (27)$$

$IAB_t$ : t시기의 이자율 조정된 베이스스

## 1. 직접적 검증 모형

저장이론에 따르면 재고량이 증가할수록 IAB가 증가하게 된다. 그 이유는 재고량 증가할수록 식 (26)에서 음의 항으로 나타나는 한계편의수익이 낮아져 선물가격이 현물가격보다 높은 정상시장이 발생하기 때문이다. 반면, 재고량이 낮아질수록 한계편의수익이 높아지므로 음의 값이 커지면서 역조시장으로 전환된다. 한편 Working(1949)에 의하면 선물과 현물가격의 차는 저장가격을 뜻하므로 재고와 IAB의 관계는 재고의 공급곡선을 확인하는 것과 일맥상통한다. 아래 식 (28)는 재고에 대한 근사치를 활용하지 않고 재고 자료와 IAB간의 관계를 살펴보기 때문에 직접적 검증 모형으로 일컬어진다.

$$IAB_t = \beta_0 + \beta_1 I_t + \epsilon_t \quad (28)$$

$IAB_t$ : t시기의 이자율 조정된 베이스스

$I_t$ : t시기의 재고량

## 2. 간접적 검증 모형

Fama and French(1988)은 저장이론을 검증하기 위해 IAB를 재고에 대한 근사치로써 활용하였다. 이 방법은 재고 자료를 분석에 직접적으로 활용하지 않고 근사치를 사용하였다는 점에서 간접적 검증 방법으로 분류된다. Fama and French의 방법은 Wright and Williams(1988)이 제기했던 재고 자료의 집계 문제 등을 극복하기 위한 것으로, 전통적 저장이론 및 직접적 검증 결과에 기반을 두어 IAB를 재고 수준으로 연결하였다. 재고 수준이 낮아 편익수익이 크면 음의 IAB가 나타난다. 이 때 현물의 수요와 공급 가격 탄력성이 커지면서 현물은 재고 한 단위 변화에 가격이 크게 변동하므로 IAB가 음일 때의 IAB 변동성이 양일 때보다 더 크다는 것을 예상할 수 있다. 이를 확인하기 위해 Fama and French(1988)와 Cho and McDougall(1990)의 방법을 따라 양과 음의 베이스스에서 IAB의 표준편차를 비교한다. 또한 Symeonidis *et*

al.(2012)는 이와 유사한 논리로부터 식 (29)를 세우고 계수를 비교하였다. 만약 변동성에 음의 베이스스가 더 큰 영향을 미친다면 IAB가 음일 때의 계수가 양일 때보다 더 크고 유의한 영향을 미친다는 것이다. 따라서  $|\phi_1| < |\phi_2|$  성립하는지를 확인하여 채고와 변동성 간의 관계를 살펴본다.

$$\sigma_t = \phi_0 + \phi_1 I_{(IAB_{i,t} > 0)} IAB_{i,t} + \phi_2 (1 - I_{(IAB_{i,t} > 0)}) IAB_{i,t} + \epsilon_t \quad (29)$$

$\sigma_t$ : 이자율 조정된 베이스스의 표준편차

$IAB_t$ : t시기의 이자율 조정된 베이스스

$I_t$ : 이자율 조정된 베이스스 부호에 따른 t시기의 표시함수

### 3. 옵션가치 평가모형

채고 보유 의사결정은 콜옵션과 비슷하다는 주장에 의해(Heinkel *et al.*, 1990 등) 편의수익은 콜옵션가치로 추정할 수 있다. 현재 가격이 구매한 가격과 보유비용의 합보다 크다면 채고를 보유한 가치는 양이 되므로 내가격, 그렇지 않다면 외가격 옵션으로 간주된다. 내가격이 더 커지면 옵션을 행사하고자 하는 유인 즉, 채고를 팔고자 하는 유인이 커지고 옵션의 외가격이 심해지면 상품 가격이 더 오를 때까지 채고를 보유하고 있으려고 한다(Kocagil, 2004). 여기서 의사결정은 행사가격과 현재가격을 비교함으로써 이루어지며 옵션의 가치는 아래 식 (30)과 같은 Black-Sholes 옵션모형을 이용하여 계산한다.

$$c_t = s_t N(d_{1,t}) - f_{t,T} N(d_{2,t}) \quad (30)$$

$$d_{1,t} = \frac{\ln(s_t/f_{t,T}) + (\sigma_t^2/2)\tau}{\sigma_t \sqrt{\tau}}, \quad d_{2,t} = d_{1,t} - \sigma_t \sqrt{\tau}$$

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_{f,t}^2 + \sigma_{s,t}^2 - 2\rho_t \sigma_{f,t} \sigma_{s,t}}$$

$f_{t,T}$ : 만기가 T인 t시기의 선물가격

$s_t$ : t시기의 현물가격

$\sigma_{f,t}$ : t시기 선물가격 로그수익률의 표준편차

$\sigma_{s,t}$ : t시기 현물가격 로그수익률의 표준편차

$\rho_t$ : t시기 선물가격과 현물가격의 로그수익률 상관계수

$\tau$ : 선물계약 만기까지의 기간

$N(\cdot)$ : 누적정규분포함수

이와 같이 추정한 옵션가치는 편의수익을 뜻하며, 재고량이 감소할수록 콜 옵션가치 상승해야 한다는 것을 가정하여 이를 아래 식 (31)과 같은 재고와의 직접적 관계를 검증한다.

$$C_t = \gamma_0 + \gamma_1 I_t + \epsilon_t \quad (31)$$

$C_t$ : t시기의 콜옵션가치

$I_t$ : t시기의 재고량

콜옵션가치와 함께 앞서 살펴 본 IAB의 음의 값은 모두 편의수익에 대한 근사치로 받아들여진다. 따라서 재고에 대한 관계가 콜옵션가치와 음의 IAB에서 모두 유사하게 나타나는지 통계적으로 확인할 필요가 있다. 즉, 콜옵션가치와 IAB의 크기 및 부호 조정을 하였을 때 재고에 대한 회귀분석의 절편

과 기울기가 서로 같다는 귀무가설에 대해 통계적 검정을 수행한다. 이를 위해 Chow(1960) 검정을 변형하였으며 검정통계량은 아래와 같다(32).

$$chow = \frac{(S_c - (S_1 + S_2))/k}{(S_1 + S_2)/(N_1 + N_2 - 2k)} \quad (32)$$

$S_c$ : 재고를 콜옵션가치와 IAB 전체에 회귀했을 때 잔차 제곱의 합

$S_1$ : 재고를 IAB에 회귀했을 때 잔차 제곱의 합

$S_2$ : 재고를 콜옵션가치에 회귀했을 때 잔차 제곱의 합

$N_1$ : IAB의 관측치 수

$N_2$ : 콜옵션가치의 관측치 수

$k$ : 변수의 개수(3)

chow 검정통계량은 F-분포를 따르므로 식 (32)에서 구한 통계량으로부터 가설에 대한 유의성을 검정한다.

## 제 5 장 에너지 · 자원의 편의수익 추정 및 가설 검정 결과

### 제 1 절 에너지·자원 재고와 편의수익 간 직접적 분석 결과

[표 12] 에너지원별 IAB의 기초통계량

통계량	평균	표준편차	최솟값	최댓값
WTI 원유	-0.015	0.047	-0.134	0.182
Brent 원유	-0.017	0.041	-0.139	0.168
HH 천연가스	0.057	0.133	-0.297	0.753
철	-0.021	0.197	-0.064	0.004
알루미늄	-0.010	0.024	-0.078	0.026
아연	-0.009	0.025	-0.098	0.020
구리	-0.022	0.027	-0.091	0.019

에너지원별 IAB를 추정하고 그 평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값을 [표 12]에 정리하였다. 헨리허브 천연가스를 제외한 모든 상품은 음의 평균을 가졌으며, WTI 원유와 Brent 원유의 평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값은 유사하게 나타났다. 이와 달리 헨리허브 천연가스의 IAB는 양의 평균을 가지며 표준편차가 0.133으로 원유에 비해 크게 나타났다. 광물의 IAB 평균의 경우 알루미늄, 아연, 구리의 표준편차는 0.024~0.027의 값을 갖는 반면, 철의 표준편차는 0.197로 훨씬 큰 값을 가졌다. 최댓값이 0.19에서 0.026인 알루미늄, 아연, 구리에 비해 철 IAB의 최댓값은 0.004로 매우 작은 수준이다.

[표 13] 재고와 IAB 간 직접적 검증 결과

상품	상수항	IAB	$R^2$
WTI 원유	-7.297*** (0.540)	0.508*** (0.038)	0.5305
Brent 원유	-0.771*** (0.064)	0.001*** (0.000)	0.4623
HH 천연가스	-2.855*** (0.351)	0.199*** (0.024)	0.2998
철	-0.169*** (0.025)	0.017*** (0.003)	0.1839
알루미늄	-0.340*** (0.017)	0.023*** (0.001)	0.7020
아연	-0.311*** (0.024)	0.023*** (0.002)	0.5045
구리	-0.325*** (0.022)	0.024*** (0.002)	0.5388

주: 1) 괄호 안은 표준편차를 의미한다.

2) \*\*\*, \*\*, \*은 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 나타낸다.

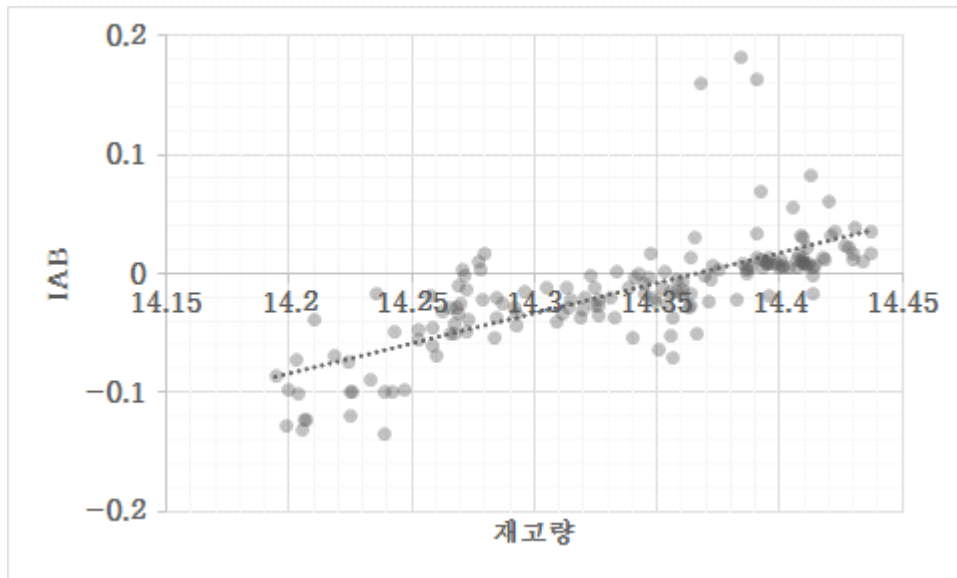
재고를 IAB에 회귀분석한 결과, 모든 상품은 재고가 증가함에 따라 IAB가 증가하는 경향을 갖는다([표 13]). 재고 1단위 증가에 대해 WTI 원유의 IAB는 0.508로 증가하며 Brent 원유의 기울기(0.001)에 비해 더 큰 계수를 갖는다. 천연가스의 IAB는 재고 1단위에 대해 0.199 증가하지만,  $R^2$ 가 원유에 비해 낮은 값을 갖는다. 광물 중에서 철은 18.39%라는 가장 낮은  $R^2$ 를 갖는 반면, 알루미늄은 70.20%라는 가장 높은  $R^2$ 를 갖는다. 재고 1단위 증가에 대해 알루미늄, 아연, 구리는 0.023~0.024의 비슷한 수준의 IAB 증가를 보이지만, 철은 0.017로 낮은 기울기를 보인다.

전체적으로  $R^2$ 가 낮은 값을 갖는 것은 재고에 따라 IAB의 변동성 또한 추세를 갖기 때문이다. Geman and Ohana(2009)의 연구에서 분석한 천연가스 베이스스와 재고의 결정계수는 52.25%, 원유의 베이스스와 재고의 결정계수는 23.16%로 천연가스에서 더 유의하게 나타났다. Cho and McDougall(1990)은 1985년부터 1989년까지의 기간에 대해 재고가 원유의 IAB를 약 64%로 설명하는 결과를 보였다.

[표 14] 기타 직접적 검증 분석  $R^2$  결과

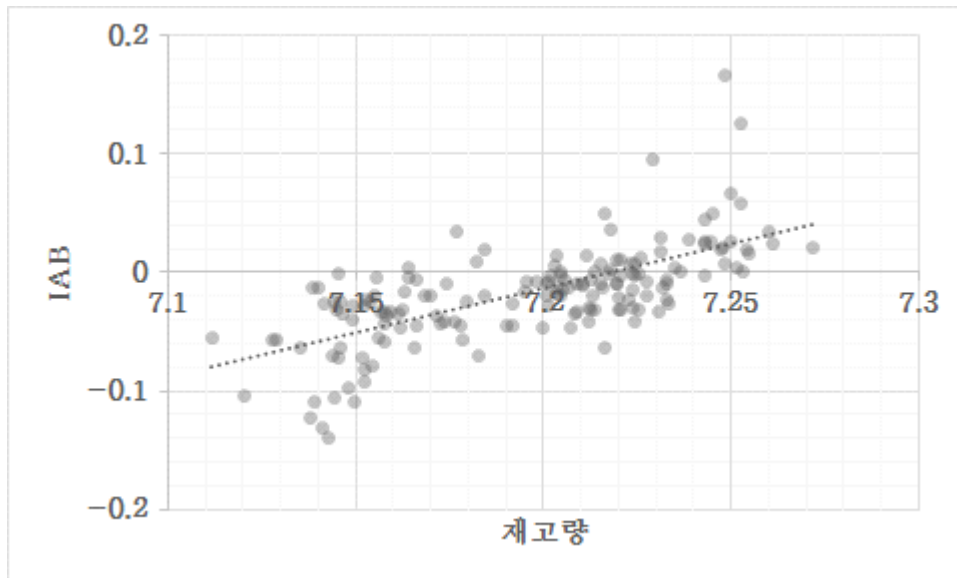
연구	기간	상품	$R^2$
Geman and Ohana(2009)	1992.12~2008.08	천연가스	0.5225
		원유	0.2316
Cho and McDougall(1990)	1985.01~1989.05	원유	0.64





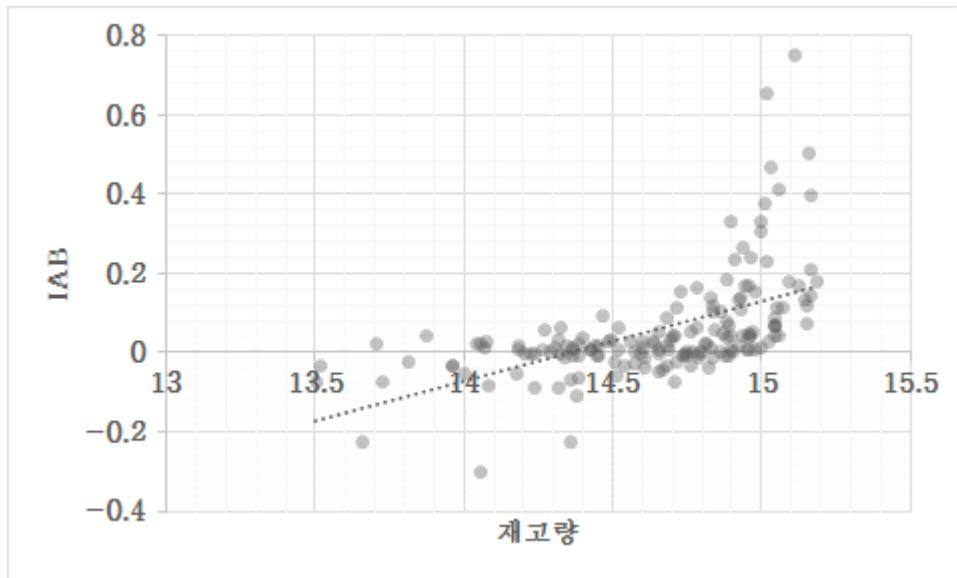
<그림 8> WTI 원유 재고량과 IAB 관계

<그림 8>은 원유 재고 한 단위 증가에 대해 WTI 원유의 IAB가 증가하는 경향이 있음을 보여준다. 추세선의 절편은 - 7.297, 기울기는 양의 값으로 0.508이다. 추세를 따를 때, 원유 재고가 낮은 수준에서는 음의 IAB를, 높은 수준에서는 양의 IAB 값을 갖는다. IAB의 최솟값은 - 0.134이고 최댓값은 0.182이다. 추세선을 크게 벗어난 세 점의 IAB 값은 0.161~0.182로 2008년 12월부터 2009년 2월까지에 해당한다. 회귀분석의 결정계수는 53.05%이다.



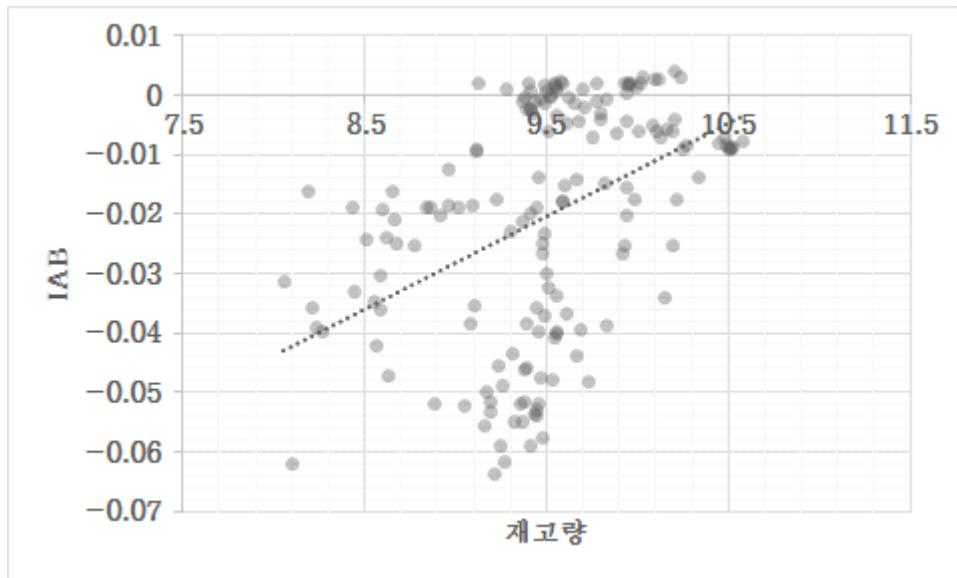
<그림 9> Brent 원유 재고량과 IAB 관계

[표 12]에서 Brent 원유의 IAB는 WTI 원유의 IAB와 유사한 값의 평균, 표준편차 등을 갖는다. 그러나 [표 13]과 <그림 9>를 볼 때, Brent 원유의 기울기와 절편은 WTI 원유에서와 차이가 나타난다. Brent 원유 재고를 IAB에 회귀했을 때 절편은  $-0.771$ , 기울기는  $0.001$ 이다. 이 기울기는 WTI 원유의 기울기인  $0.508$ 보다 낮다. 그러나 WTI 원유와 마찬가지로 Brent 원유 또한 재고 증가에 따라 IAB가 증가함으로써 저장이론을 만족하며 46.23%의 결정계수를 갖는다. 최댓값인  $0.168$ 은 WTI 원유에서 이상점이 나타났던 시기와 유사하게 2008년 12월이다.



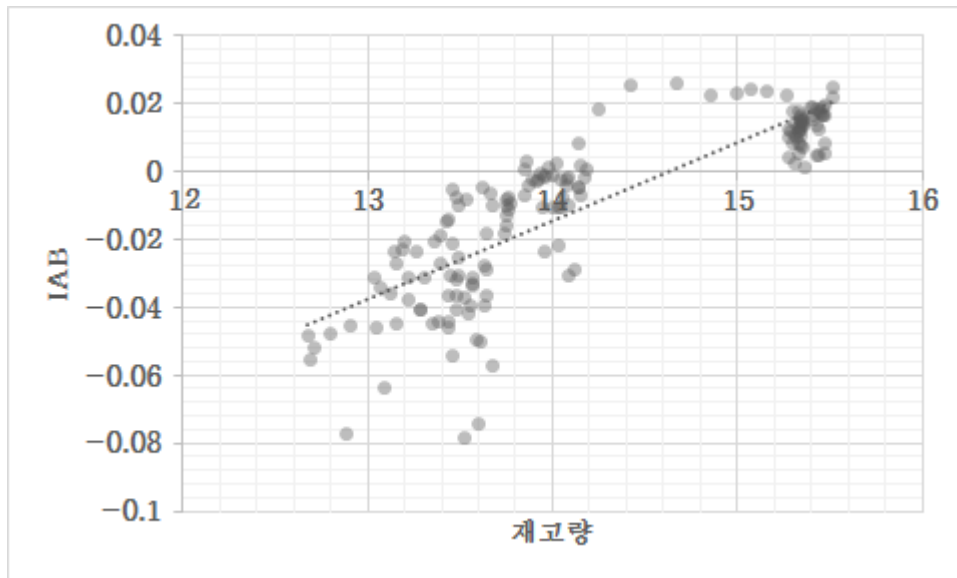
<그림 10> 헨리허브 천연가스 재고량과 IAB 관계

<그림 10>은 헨리허브 천연가스의 재고량에 대한 IAB의 변화를 나타낸다. 절편은 -2.855이며 재고 한 단위 증가에 대해 IAB는 0.199 정도로 증가한다. 양의 기울기는 헨리허브 천연가스 또한 저장이론을 만족함을 보여준다. 단, 약 50%의 결정계수를 가졌던 원유와 달리 천연가스의 재고량이 IAB를 설명하는 수준은 약 30%에 그친다. <그림 10>과 [표 15]를 참고할 때, 천연가스 IAB의 관측치 163개 중 115개가 양의 값으로 음의 IAB를 갖는 것은 48개에 불과하다. 이는 64개, 45개가 양의 베이스이던 원유와 상반된다.



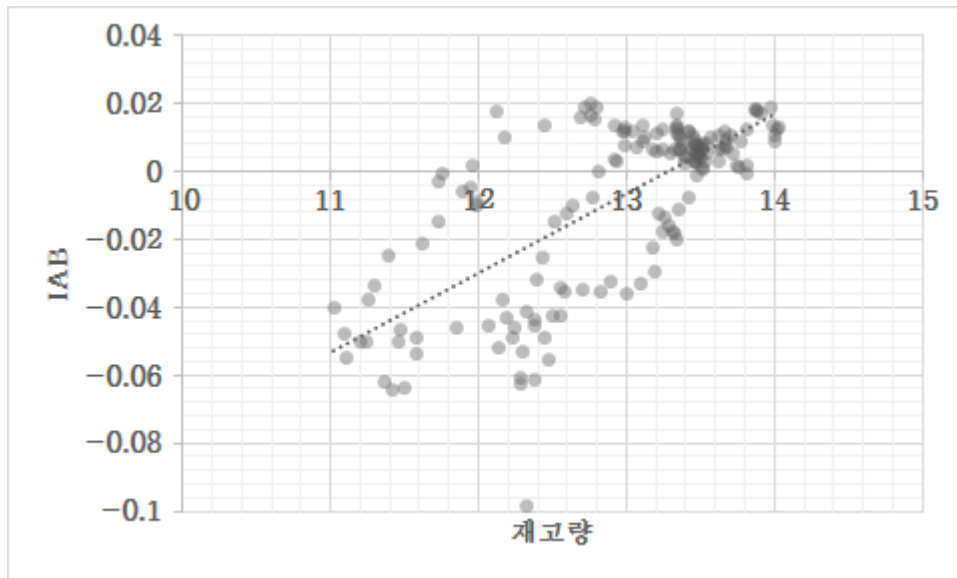
<그림 11> 철 재고량과 IAB 관계

알루미늄, 아연, 구리와 비교할 때, 철의 재고와 IAB의 관계는 <그림 11>에서 볼 수 있는 것처럼 다른 광물에 비해 상대적으로 넓게 분포되어 있다. 결정계수는 약 18.39%에 불과하나 추세선의 기울기가 0.017로 양의 값을 가지므로 재고의 증가에 따라 IAB가 증가하는 것이 확인된다. [표 15]에서 철의 IAB는 163개의 관측치 중 상당수인 136개의 IAB가 음의 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 최댓값 또한 0.004로 다른 상품에 비해 현저히 낮다.



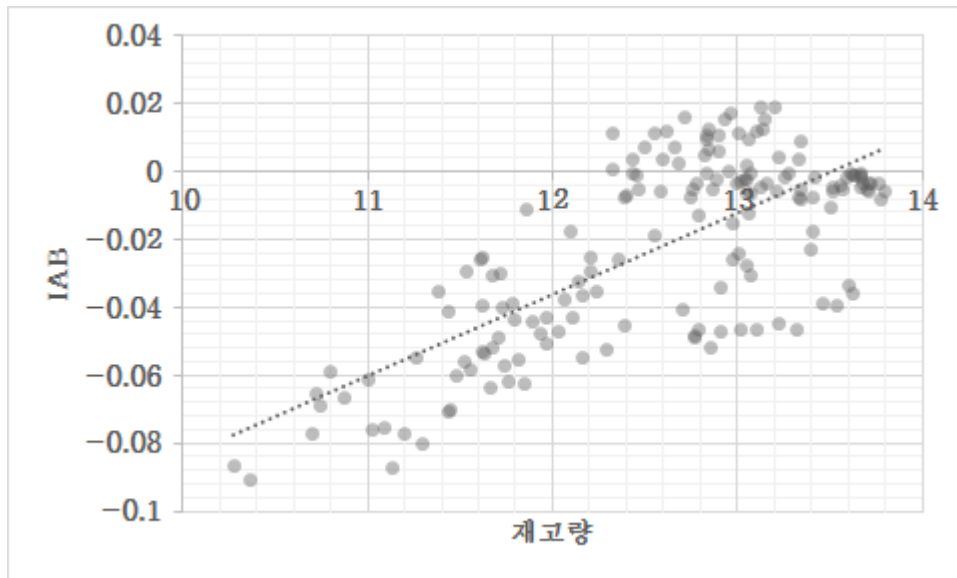
<그림 12> 알루미늄 재고량과 IAB 관계

<그림 12>은 재고량에 따른 알루미늄의 IAB가 절편 -0.340과 기울기 0.023으로 변화하는 것을 보여준다. 양의 기울기는 재고의 증가에 따라 IAB가 증가하며 알루미늄이 저장이론을 만족함을 의미한다. 알루미늄의 경우, 재고량과 IAB간 결정계수가 70.20%로 모든 상품 중에서 가장 높게 나타난다. 이는 추세선을 중심으로 재고 대 IAB 값이 가깝게 분포하며 특히 추세선의 오른쪽 끝에 분포하는 재고 15.200 이상의 값이 163개 중 50개로 약 30%의 관측치가 특정 지점에 모여 있는 것이 특징적이다. 또한 재고 수준이 14.114보다 크고 15.259보다 작을 때에는 47개의 관측치가 IAB가 추세선 위쪽에 분포한다.



<그림 13> 아연 재고량과 IAB 관계

재고량 변화에 대한 아연의 IAB는 절편이  $-0.311$ 이며 기울기는 알루미늄과 같은  $0.023$ 이다. 그러나 <그림 13>에서 볼 수 있듯이 재고량과 IAB의 분포 형태는 알루미늄과 차이가 있으며, 결정계수 또한  $50.45\%$ 로,  $70.20\%$ 인 알루미늄에 비해  $20\%$  가량 낮다. 아연의 재고량은 그 수준이 클수록 추세선을 중심으로 분포한다. 아연 IAB는 재고 수준이  $12.313$ 일 때, IAB 값  $-0.098$ 의 이상점을 갖는데 이는 2000년 9월에 해당한다.



<그림 14> 구리 재고량과 IAB 관계

구리의 재고량 변화에 대하여 IAB는 -0.325의 절편과 0.024의 기울기를 갖는다. 이 값은 알루미늄, 아연과 유사한 값이나, 결정계수는 <그림 14>를 볼 때 그 양상은 이들 광종과 다르게 나타난다. 구리 또한 이전 6개 상품과 마찬가지로 재고량 증가에 따라 IAB가 증가하며 저장이론을 정량적으로 설명한다. 구리의 IAB가 양의 값을 갖는 경우는 [표 15]에 의하면 약 32개로 전체 관측치에서 약 20%에 불과하며 나머지 80%의 IAB 관측치는 음의 값을 갖는다.

## 제 2 절 에너지·자원 재고와 편의수익 간 간접적 분석 결과

간접적 검증모형에서는 재고에 대한 근사치로써 IAB의 부호를 사용한다. 이는 재고가 낮아 선·현물이 역조시장에 있을 때, 낮은 재고로 인해 가격 변동성이 커진다는 가정에 기초한다. 따라서 IAB가 음의 값일 때의 IAB 표준편차는 양일 때의 표준편차보다 더 커야 한다.

### 1. Cho and McDougall(1990)의 표준편차 비교

Cho and McDougall(1990)의 검증 방식에 따라, IAB의 부호에 따른 표준편차 크기를 비교한 결과([표 15]) WTI, Brent 원유, 헨리허브 천연가스는 IAB가 양일 때의 표준편차가 더 큰 값을 갖는데 원유의 경우, 2008년 12월부터 2009년 2월까지 가격 변동에 나타난 이상적인 현상으로 인해 양의 표준편차 값을 높였기 때문인 것으로 보인다. 이 값을 제하면 WTI는 원유 베이스스가 양일 때의 표준편차가 0.036보다 현저히 낮은 0.016의 값을 가지며 Brent 원유는 0.019의 값을 갖는다. 천연가스는 원유와 달리 베이스스가 양인 경우가 2배 이상 많을 뿐 아니라, 변동성 또한 더 큰 경향을 나타낸다. 철, 알루미늄, 아연, 구리는 베이스스가 음일 때의 표준편차가 현저히 크게 나타나며 철의 경우 그 차이가 약 20배, 알루미늄, 아연, 구리는 4~5배 정도의 차이가 난다.



[표 15] 베이스의 부호에 따른 표준편차 비교

상품	베이스 부호	개수	베이스 표준편차
WTI 원유	양	64	0.036
	음	99	0.034
Brent 원유	양	45	0.033
	음	118	0.030
HH 천연가스	양	115	0.133
	음	48	0.061
철	양	27	0.001
	음	136	0.019
알루미늄	양	65	0.007
	음	98	0.019
아연	양	95	0.005
	음	68	0.020
구리	양	31	0.005
	음	132	0.025

## 2. Symeonidis et al.(2012)의 양과 음의 베이스스 계수 비교

양과 음의 베이스스와 변동성의 관계를 Symeonidis *et al.*(2012)의 방법으로 살펴보면 베이스스 표준편차에 대한 양과 음의 베이스스 계수 절대치를 비교할 수 있다. Symeonidis *et al.*(2012)는 변동성에 음의 베이스스가 더 큰 영향을 미친다면, IAB가 음일 때의 계수가 양일 때보다 더 크고 유의한 영향을 미쳐야 한다고 하였다. [표 16]으로부터 절대치를 비교할 때, 음의 베이스스 계수가 양의 베이스스 계수보다 더 큰 값을 갖는 경우는 알루미늄과 아연 뿐이며 그 외에는 가정에 대한 역의 결과를 나타낸다. [표 17]에서는 통계적으로 F-검정을 통해 계수가 같은 값을 갖는지 비교하였다. 귀무가설은 음의 베이스스와 양의 베이스스의 회귀계수가 같다는 것이다. 분석 결과, 음의 베이스스 계수가 더 큰 것은 알루미늄뿐인 것으로 나타났다. 이 때 F-검정 통계량은 4.78로 5% 수준에서 유의하게 귀무가설을 기각한다. WTI 원유와 구리는 통계적으로 양의 베이스스 계수가 큰 값을 갖고 그 외 상품들은 같은 값을 갖는 결과를 얻었다. 부록의 <그림 1>부터 <그림 7>은 IAB의 표준편차에 대해 IAB 값을 회귀한 그래프이다. 추세선은 베이스스와 변동성 간의 비대칭적인 V 형태를 보인다는 Kogan *et al.*(2008)와 0에서 구분된 선형 추세 및 비모수적 추세를 그린 Geman and Ohana(2009)에 근거하여 IAB에 대한 2차 함수 추세를 나타내었다.

[표 16] 부호에 따른 베이스와 변동성 간의 회귀분석 결과

상품	상수항	양의 IAB	음의 IAB	$R^2$
WTI 원유	0.003** (0.001)	0.415*** (0.232)	-0.181*** (0.018)	0.6853
Brent 원유	0.010*** (0.002)	0.235*** (0.000)	-0.016** (0.045)	0.1129
HH 천연가스	0.021*** (0.003)	0.340*** (0.019)	-0.397*** (0.059)	0.6810
철	0.001*** (0.000)	-0.479* (0.253)	-0.064*** (0.010)	0.2807
알루미늄	0.001*** (0.000)	0.016 (0.026)	-0.082*** (0.011)	0.3249
아연	0.002*** (0.000)	-0.007 (0.031)	-0.044*** (0.009)	0.2041
구리	0.013*** (0.002)	1.319*** (0.000)	-0.076* (0.044)	0.1383

주: 1) 괄호 안은 표준편차를 의미한다.

2) \*\*\*, \*\*, \*은 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 나타낸다.

[표 17] 베이스스 부호의 계수 통계적 비교

상품	$ \phi_1  =  \phi_2 $	
	F-검정통계량	결과
WTI 원유	87.20***	$ \phi_1  >  \phi_2 $
Brent 원유	1.37	$ \phi_1  =  \phi_2 $
HH 천연가스	0.96	$ \phi_1  =  \phi_2 $
철	2.60	$ \phi_1  =  \phi_2 $
알루미늄	4.78**	$ \phi_1  <  \phi_2 $
아연	0.97	$ \phi_1  =  \phi_2 $
구리	25.40***	$ \phi_1  >  \phi_2 $

주: 1) 귀무가설은 양의 IAB 계수와 음의 IAB 계수가 같다는 것이다.  
 2) \*\*\*, \*\*, \*은 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 나타낸다.

### 제 3 절 옵션가치 평가모형을 통한 분석 결과

#### 1. 콜옵션 가치 추정

Black-Sholes 모형을 통해 추정한 각 상품의 콜옵션가치는 추정한 결과는 [표 18]과 같다. WTI 원유의 콜옵션가치 평균은 1.243, 표준편차 1.270이며 이 값은 Brent 원유 평균 2.684와 표준편차 1.601에 비해 작다. 최솟값은 WTI 원유의 경우 -3.281, Brent 원유는 -1.706이고 최댓값은 WTI 원유가 5.154, Brent 원유가 6.742이다. 천연가스는 평균 0.496, 표준편차 0.798로 원유에 비해 현저히 낮은 값을 갖는다. 또한 최솟값(-3.791)과 최댓값(3.064)도 원유보다 낮은 수준에 있다. 광물 4종 중 철의 평균(96.469)과 표준편차(87.721)가 다른 광물이 비해 크다. 특히 최댓값은 322.038로 다른 세 광종에 비해 훨씬 큰 값이다. 알루미늄과 아연의 콜옵션가치 평균은 각각 -6.666, -0.023으로 철, 구리와 달리 음의 값을 갖는다. 이들 표준편차는 21.275, 23.909로 비슷한 값이다. 알루미늄의 최솟값(-50.030), 최댓값(54.903)이 아연의 최솟값(-38.398)과 최댓값(79.601)에 비해 낮다. 구리의 콜옵션가치 평균은 19.789로 양의 값이다. 표준편차가 37.588, 최솟값 -26.431, 최댓값 152.869로 알루미늄, 아연에 비해 큰 수준이다.

[표 18] 추정 한 콜옵선행가치의 기초통계량

상품	평균	표준편차	최솟값	최댓값
WTI 원유	1.243	1.270	-3.281	5.154
Brent 원유	2.684	1.609	-1.705	6.742
HH 천연가스	0.496	0.798	-3.791	3.064
철	96.469	87.720	-62.002	322.038
알루미늄	-6.666	21.276	-50.030	54.903
아연	-0.023	23.909	-38.398	79.601
구리	19.789	37.588	-26.431	152.869

## 2. 재고와 콜옵선행가치의 관계

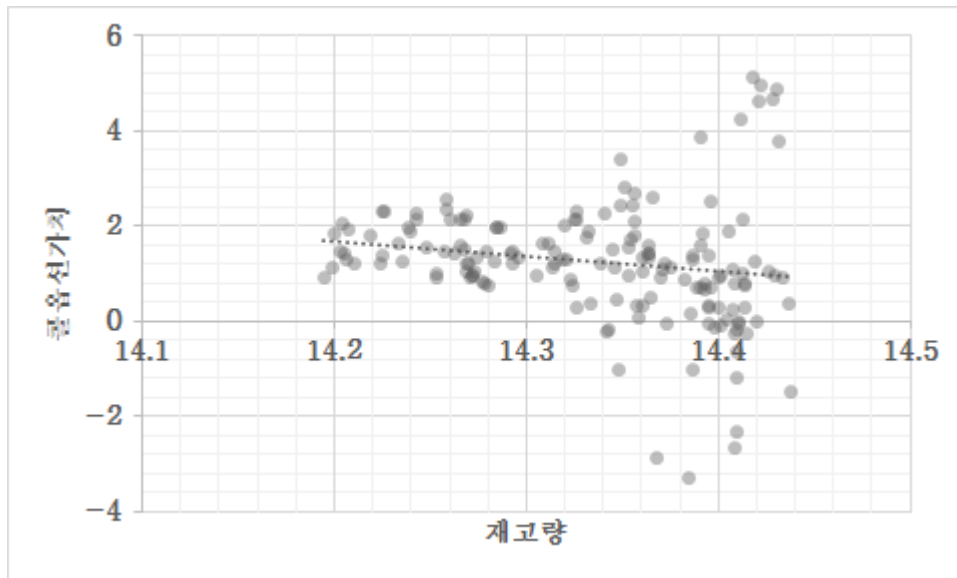
추정한 콜옵선행가치에 재고를 회귀하는 직접적 검증 결과, [표 19]과 같이 Brent 원유를 제외한 모든 상품은 재고에 따라 콜옵선행가치가 감소함으로써 이론에 부합하였다. WTI 원유의 콜옵선행가치와 재고는 음의 기울기(-3.281)를 가지나  $R^2$ 가 3.04%로 매우 낮다. Brent 원유의  $R^2$ 는 WTI 원유보다는 다소 높음에도 불구하고, Brent 원유 재고와 콜옵선행가치는 양의 기울기(0.015)를 가지므로 이론에 맞지 않는다. 천연가스는 음의 기울기(-0.716)는 10.88%의  $R^2$ 를 갖는다. 철, 알루미늄, 아연, 구리 중에서도 철의 콜옵선행가치는 IAB 회귀 분석의 경우에서와 마찬가지로 다른 광물에 비해 낮은  $R^2$ (18.19%)를 갖는다. 또한 재고 1단위 증가에 대해 콜옵선행가치가 감소하는 정도가 알루미늄(-15.407), 아연(-21.304), 구리(-27.501)과 3배 이상 차이나는 69.471의 기울기를 나타낸다. 절편도 알루미늄(212.177), 아연(275.128), 구리(365.477)가 비슷한 수준인 반면 철의 절편은 755.122로 다른 광물에 비해 크다. 철에 비해 상대적으로 높은  $R^2$ 를 갖는 알루미늄, 아연, 구리의  $R^2$ 는 각각 40.47%, 46.32%, 37.25%이다.

[표 19] 콜옵션가치에 대한 재고량의 회귀분석 결과

상품	상수항	콜옵션가치	$R^2$
WTI 원유	48.287** (20.927)	-3.281** (1.460)	0.0304
Brent 원유	-16.853*** (3.047)	0.015*** (0.002)	0.2036
HH 천연가스	10.981*** (2.366)	-0.716*** (0.162)	0.1088
철	755.122*** (110.278)	-69.471*** (11.613)	0.1819
알루미늄	212.177*** (20.959)	-15.407*** (1.423)	0.4047
아연	275.128*** (23.385)	-21.304*** (1,808)	0.4632
구리	365.477*** (35.438)	-27.501*** (2.814)	0.3725

주: 1) 괄호 안은 표준편차를 의미한다.

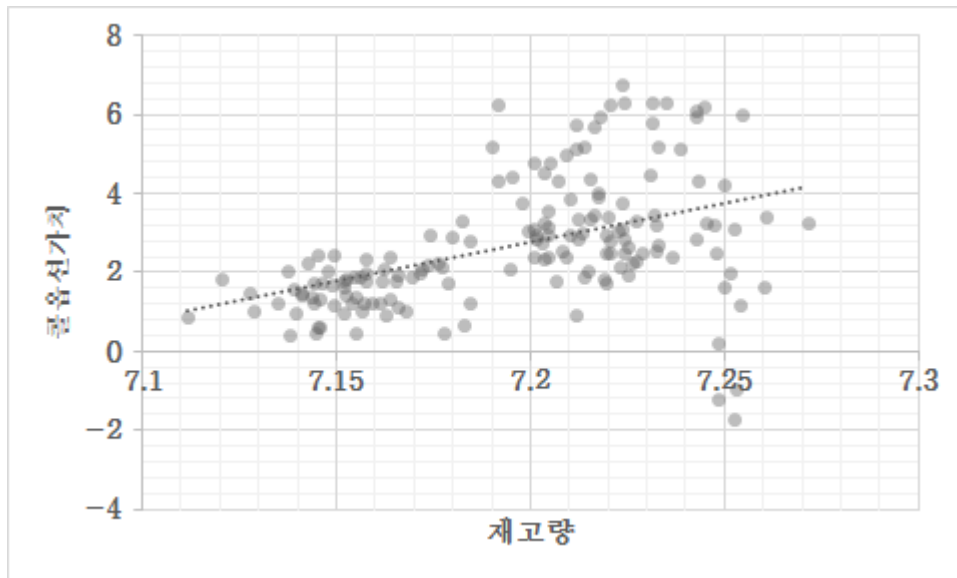
2) \*\*\*, \*\*, \*은 각각 1%, 5%, 10% 수준에서 유의함을 나타낸다.



<그림 15> WTI 원유 재고량과 콜옵션가치 관계

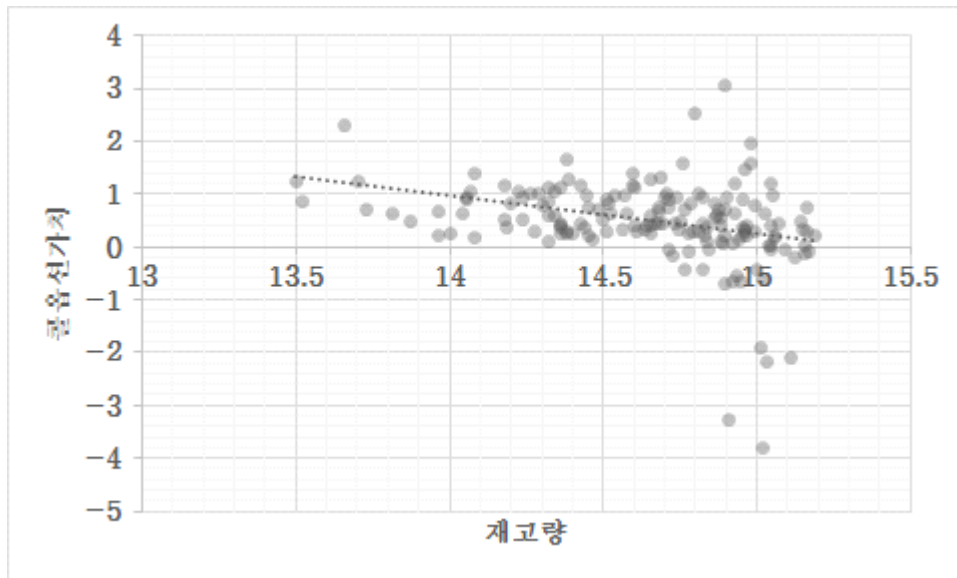
<그림 15>을 볼 때, WTI 원유 재고량이 증가함에 따라 콜옵션가치는 감소하는 양상을 갖는다. 재고 한 단위 증가에 대해 WTI 원유는 3.281 감소한다. 이는 재고 감소에 따라 한계편의수익이 증가한다는 저장이론을 WTI 원유의 콜옵션관점에서도 만족함을 보여준다. 단, 기울기의 계수가 5% 수준에서 유의함에도 불구하고, WTI 원유의 콜옵션가치는 재고가 증가함에 따라 점차 추세선을 기준으로 분포가 넓어진다. 또한 결정계수가 3.04%로 매우 작은 값을 가지는데 이는 다른 상품들과 비교해서도 크게 낮은 값이다.





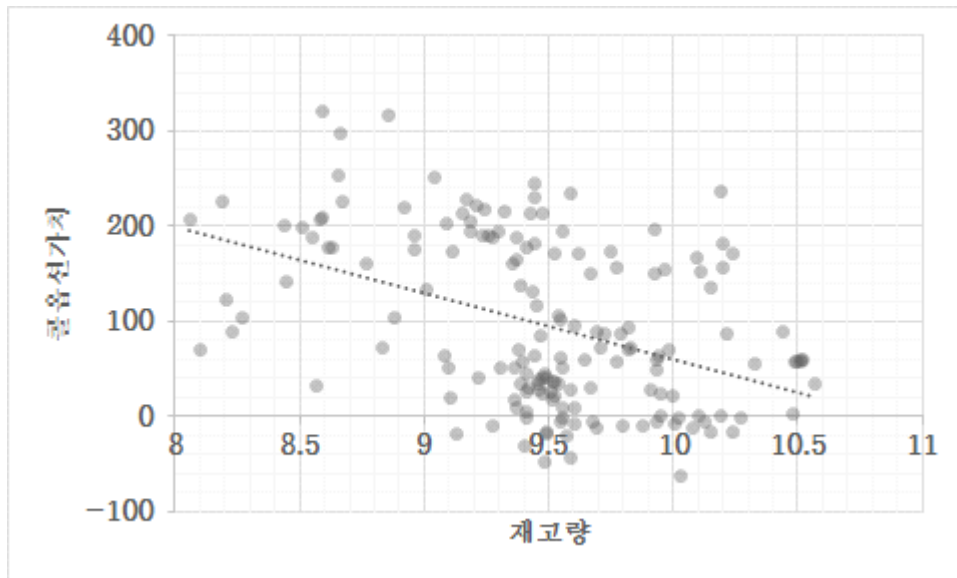
<그림 16> Brent 원유 재고량과 콜옵션가치 관계

<그림 16>과 [표 19]로부터 Brent 원유의 재고량 증가에 따라 콜옵션가치가 기울기 0.015로 1% 수준 이내에서 유의하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 재고가 감소함에 따라 콜옵션가치가 증가해야 한다는 가설에 대해 명백히 반대되는 결과이다. 즉, IAB와 재고량을 분석했을 때는 만족하는 것으로 나타났다. 저장이론이 콜옵션가치와 재고량 분석에서는 만족하지 않음을 뜻한다. 앞서 IAB를 분석했을 시, WTI 원유와 Brent 원유는 재고와의 관계에서 비슷한 값을 기울기를 가졌으나 콜옵션가치를 변수로 했을 때에는 상이한 결과가 나타난다. 이러한 차이에도, 결정계수는 20.36%로 WTI 원유에 비해 훨씬 큰 값을 보여준다.



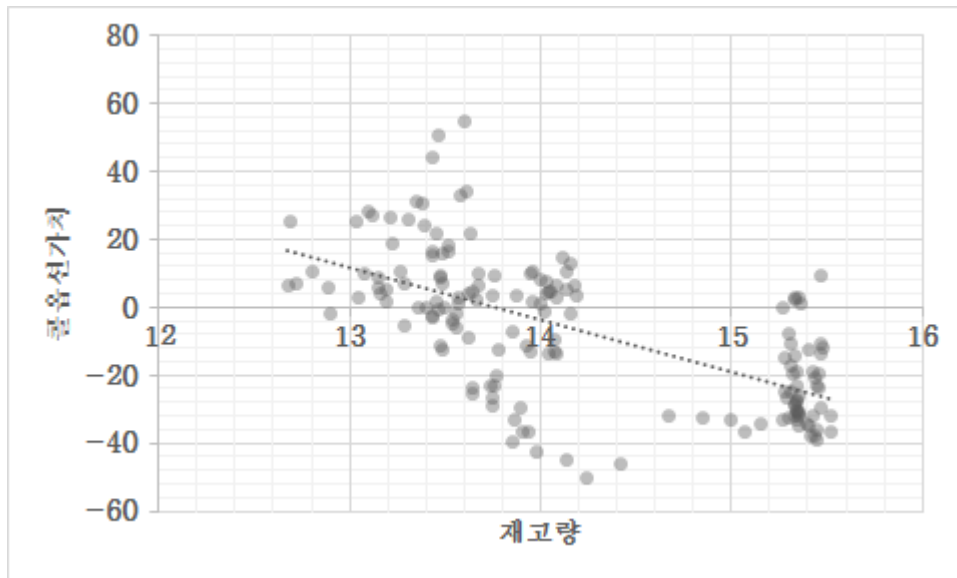
<그림 17> 헨리허브 천연가스 재고량과 콜옵선가치 관계

헨리허브 천연가스는 재고량이 1단위 증가함에 따라 콜옵선가치가 0.716으로 1% 수준에서 유의하게 감소한다. 절편은 10.981의 값을 갖는다. 기울기를 볼 때, 헨리허브 천연가스의 콜옵선가치는 한계편의수익의 의미를 가지며 재고 감소에 따라 한계편의수익이 증가함을 보여준다. 헨리허브 천연가스 콜옵선가치의 표준편차(0.798)은 1 이상의 값을 갖는 원유 콜옵선가치의 표준편차에 비해 낮은 값을 가지며 추세선을 중심으로 분포하는 것을 <그림 17>에서 볼 수 있다. 콜옵선가치가 특히 낮은 값 -3.791과 -3.26을 나타내는 시기는 2006년 9월과 10월에 해당한다.



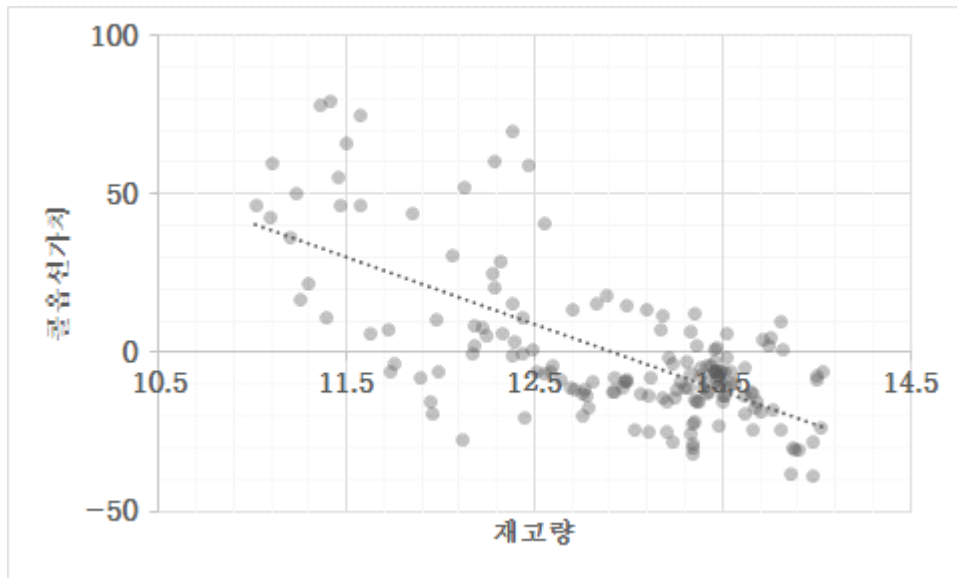
<그림 18> 철 재고량과 콜업선가치 관계

철 재고량의 증가에 따른 콜업선 가치의 하락을 <그림 18>에 나타내었다. 기울기는  $-69.481$ , 절편은  $755.122$ 이다. 이러한 음의 기울기는 콜업선가치 관점에서 저장이론을 잘 만족하지만 철은 네 가지의 광종 중에서 가장 낮은 결정계수( $18.19\%$ )를 갖는다. 철 콜업선가치 표준편차가  $87.720$ 으로 21~37 수준인 다른 광물의 표준편차보다도 더 큰 값을 갖는 것이 낮은 결정계수를 설명하는 한 가지 요인이 된다. 철의 IAB의 표준편차를 살펴보면, 철의 IAB 표준편차가 다른 세 광물의 표준편차보다 약 10배 크다([표 15]). 즉, 표준편차에서 철의 콜업선가치와 IAB는 공통적으로 다른 광물에 비해 큰 값을 갖는다.



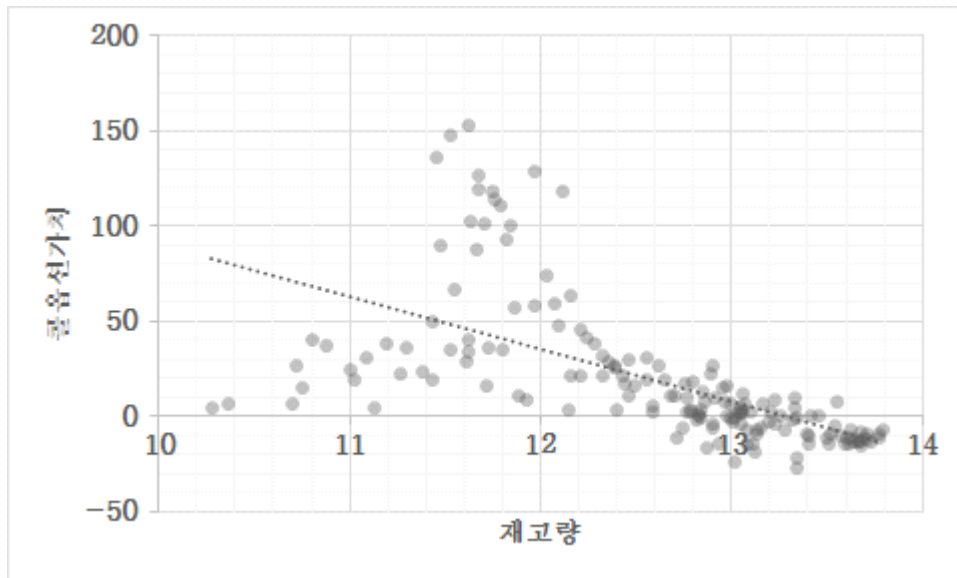
<그림 19> 알루미늄 재고량과 콜옵선가치 관계

알루미늄 재고량 한 단위 증가에 따라 알루미늄의 콜옵선가치는 15.407로 하락한다. 이 회귀분석의 절편은 212.177이다. 즉, 알루미늄은 재고량 증가에 따라 한계편의수익이 감소하는 저장이론을 콜옵선관점에서도 만족한다(<그림 19>). 재고량과 콜옵선가치의 회귀분석 결정계수는 40.47%로 철에 비해 높은 값을 가지며 다른 상품에 비해 아연(46.32%), 구리(37.25%)와 비슷한 수준이다. 알루미늄의 재고량과 콜옵선 관계에서 특징적인 것은 14.1 이상부터 15.2 이하의 재고 수준에 대해 콜옵선가치가 추세선의 아래편에 분포한다는 것이다. <그림 12>에서 나타난 알루미늄 IAB와 비교할 때, 마치 콜옵선가치와 IAB는 상하 대칭인 양상을 보인다.



<그림 20> 아연 재고량과 콜옵선가치 관계

아연의 재고량은 재고 한 단위 증가에 대해 콜옵선가치가 21.304로 감소하며 절편은 275.128이다. 음의 기울기는 아연 또한 다른 광물과 마찬가지로 저장이론을 잘 만족함을 의미한다. <그림 20>에서 재고와 콜옵선가치의 관계가 우하향하는 추세선의 오른쪽 아래쪽에 분포한다. <그림 13>과 비교하면 재고와 IAB의 관계는 우상향하는 추세선의 오른쪽 위쪽에 모여 있는 것을 확인할 수 있다. 두 그래프로부터 IAB와 콜옵선가치의 재고에 대한 관계는 상하 대칭으로 나타난다.



<그림 21> 구리 재고량과 콜옵선가치 관계

<그림 21>에 음의 기울기 -27.501과 절편 365.477을 갖는 구리 재고량과 콜옵선가치의 관계를 나타내었다. 구리 또한 저장이론을 만족하는 것을 확인할 수 있다. 결정계수는 37.25%로, 철을 제외한 다른 광물들과 마찬가지로 약 40%에 근접한 값을 갖는다. [표 19]를 보면 구리는 아연, 알루미늄과 기울기의 크기와 절편의 크기가 유사하다. 구리의 재고량과 콜옵선가치는 아연에서 살펴본 것과 마찬가지로 재고량이 줄어들수록 값이 넓게 분포하고 재고량이 증가할수록 추세선을 중심으로 분포하는 것을 볼 수 있다. 그러나 구리는 아연과는 달리, <그림 14>에서 우상향하는 IAB와 재고량 관계에서 재고량이 증가할수록 분포가 작아지는 것을 확인하기 어려우며, <그림 21>과 같은 분포는 IAB와 별개로 콜옵선가치에서 특징적으로 나타나는 것으로 볼 수 있다.

### 3. IAB와 콜옵선행가치 비교

재고 변화에 대한 IAB와 콜옵선행가치 추세의 변화가 같다는 귀무가설에 대해 [표 20]과 같은 통계량 및 유의성을 구하였다. 비교를 위하여 IAB와 콜옵선행가치의 시작점을 1로 기준하였고 음의 값이 편의수익을 뜻하는 IAB에 음수를 취하였다. 즉, 두 식  $IAB_t = \beta_0 + \beta_1 I_t + \epsilon_t$  (식 28)과  $C_t = \gamma_0 + \gamma_1 I_t + \epsilon_t$  (식 31)을 스케일을 조정하고 식 (28)의 부호를 바꾸어 아래와 같이 변형한다.

$$IAB'_t = \beta'_0 + \beta'_1 I_t + \epsilon_t \quad (33)$$

$$C'_t = \gamma'_0 + \gamma'_1 I_t + \epsilon_t \quad (34)$$

$IAB'_t$ : 부호와 스케일 조정한 IAB

$C'_t$ : 스케일 조정한 콜옵선행가치

검정의 귀무가설은  $\beta'_0 = \gamma'_0$ ,  $\beta'_1 = \gamma'_1$ 이다. 검정 결과, 철을 제외한 모든 상품은 재고에 대한 추세(절편과 기울기)가 같다는 귀무가설을 기각하였으며, 철은 기각에 실패하였다. 따라서 통계적으로 철의 추세만 IAB와 콜옵선행가치에 있어 같다는 결과를 얻을 수 있다([표 20]).

[표 20] 콜옵션가치와 IAB의 재고에 대한 추세 비교 결과

상품	F-검정통계량	P값
WTI 원유	57.433	0.000
Brent 원유	252.375	0.000
HH 천연가스	58.144	0.000
철	0.681	0.507
알루미늄	47.172	0.000
아연	41.086	0.000
구리	35.547	0.000



여기까지 편의수익의 추정을 통한 저장이론의 가설을 검정한 결과는 [표 21]에 나타내었다. WTI 원유, Brent 원유, 헨리허브 천연가스, 철, 알루미늄, 아연, 구리에 대해 IAB를 추정하여 직접적 검증, 간접적 검증, 콜옵션가치 검증을 수행하였다. 모든 가설 검정에 대해 귀무가설을 기각하는데 실패함으로써 저장이론을 만족하는 상품은 알루미늄과 아연인 것으로 나타났다. 직접적 검증을 수행하였을 때 모든 상품은 재고의 증가에 따라 IAB가 증가하였다. 반면, 간접적 검증은 방법론에 따라 차이가 나타났으나, WTI 원유와 Brent 원유는 어떤 방법론에도 재고 수준이 감소할수록 가격 변동성이 커진다는 가설을 만족하지 않았다. 이는 Cho and McDougall(1990)의 결과와도 일맥상통한다. 콜옵션가치를 추정하고 재고가 감소함에 따라 콜옵션가치가 증가한다는 가설을 검정하였을 때, 대부분의 상품들은 가설에 부합하였으나, Brent 원유만이 이에 반대되는 결과를 보였다.

[표 21] 가설 검정의 결과 종합

추정 방식	IAB			콜옵션가치
검증 방식	직접적 검증	간접적 검증1	간접적 검증2	콜옵션가치 검증
WTI 원유	O	X	X	O
Brent 원유	O	X	X	X
HH 천연가스	O	X	O	O
철	O	O	X	O
알루미늄	O	O	O	O
아연	O	O	O	O
구리	O	O	X	O

## 제 6 장 결 론

본 연구는 에너지·자원 상품의 편의수익을 추정하고 재고와 편의수익이 갖는 관계로부터 각 에너지·자원의 경제적 특성을 비교분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 먼저, 저장이론(Theory of storage) 및 편의수익(Convenience yield)에 관한 주요 연구를 흐름과 주제에 따라 재정리하였다. 나아가 이러한 연구의 종합화를 통해서 정량적 분석 모형을 세 가지로 정리하고, 에너지·자원의 편의수익과 재고 간 관계 분석에 적용하였다.

재고와 편의수익의 관계를 연구하기 위해서는 저장이론 및 편의수익에 관한 이론뿐만 아니라 연구 논의의 진행에 대한 이해가 바탕이 되어야 한다. 이에 본 연구에서는 개별 선행연구를 면밀히 살펴보고 연구의 줄기를 기존 연구에 근거하여 분류하였다. 분석을 위한 연구의 흐름은 다음과 같이 정리된다. 저장이론이 등장하는 초기에는 보유비용모형의 베이스로부터 편의수익을 추정하여 재고와의 관계를 분석하였다. 그러나 재고의 집계에 대한 문제가 대두되면서 재고 자료를 직접적으로 사용하는 대신, 이자율 조정된 베이스(Interest-adjusted Basis, IAB)를 근사치로 사용하기 시작했다. 이는 IAB를 이용해 재고의 수준에 따른 가격 변동성에 대해 분석하는 방식이며, 점차 IAB는 베이스와 재고 간 관계를 살펴보는 직접적 연구에서도 쓰이게 된다. 이 때, 재고의 비축과 매도 매커니즘으로부터 편의수익을 옵션으로 추정할 수 있다는 주장이 제기되고 편의수익은 다양한 옵션가치모형으로 평가되며 이론이 발전하였다.

이러한 연구의 흐름으로부터 도출할 수 있는 분석 모형은 크게 세 가지이다. 첫 번째 분석 방법은 편의수익을 이자율 조정된 베이스(Interest-adjusted Basis, IAB)로 추정하고 편의수익과 재고의 관계를 직접적 분석 모형이다. 둘째는 IAB를 재고의 근사치로 두고 가격 변동성과의 관계를 확인하는 간접적 분석 방법이다. 셋째는 옵션가치평가모형을 통해 편의수익을

추정하고 재고와의 관계를 분석하는 방법이다. 이러한 분석을 2000년 1월부터 2013년 7월까지 WTI 원유, Brent 원유, 헨리허브 천연가스, 철, 알루미늄, 아연, 구리의 재고와 편의수익 간 관계를 알아보는 데 적용하였다. 간략한 연구 결과와 그 시사점은 다음과 같다.

첫째, 재고와 베이스스 관계에 대한 직접적 분석 결과, 재고 증가에 따라 IAB는 모든 상품에서 양의 관계를 갖는 것으로 나타났다. IAB의 음의 값은 편의수익을 뜻하므로, 결과는 재고가 감소할수록 편의수익이 증가하는 저장이론이 모든 에너지·자원 상품에서 만족하는 것을 보여준다. 특히 알루미늄, 아연, 구리는 재고의 증가에 대해 유사한 정도의 IAB 변화가 나타난다.

둘째, IAB를 재고의 근사치로 이용하여 재고 수준에 따른 가격 변동의 관계를 검증하는 간접적 검증을 두 가지 방법으로 수행하였다. 두 방법은 재고 수준이 높을 때에는 재고가 가격 변화를 완충하는 역할을 하지만 재고가 희소할 때에는 가격 그 역할을 하지 못해 가격 변동이 커진다는 가정에 기반을 둔다. 먼저, 역조시장일 때와 정상시장일 때 IAB의 표준편차를 비교하였을 때, 원유와 천연가스는 양의 베이스스일 때에 오히려 가격 변동성이 컸으나 광물 자원은 음의 베이스스일 때 가격변동성이 더 큰 결과를 얻었다. 이는 광물의 경우에서 저장이론이 만족하는 것을 뜻한다. 다음으로, 재고에 대해 음과 양의 베이스스 회귀계수 비교하였다. 여전히 원유는 양의 베이스스 회귀계수가 크게 나타나 간접적 분석을 통한 저장이론을 만족하지 않는 것으로 나타났다. 통계적으로 비교할 시, 알루미늄만이 음의 베이스스 계수가 통계적으로 유의하게 큰 것으로 나타나며 두 분석 결과는 방법론에 따른 차이가 있다.

마지막으로, 옵션가치평가모형으로 콜옵션가치를 추정하고 재고와의 관계를 분석하였다. 재고의 증가에 대해 Brent 원유를 제외한 모든 상품의 콜옵션가치가 감소한다. 이는 Brent 원유를 제외한 모든 상품이 저장이론에 부합하는 결과를 보인 것이다. 또한 추정한 콜옵션가치와 IAB 음의 값 모두 편의수

익을 의미한다는 가설로, 재고에 대한 두 시계열의 반응이 통계적으로 같은지를 알아보았다. 철을 제외한 모든 상품의 IAB와 콜옵션가치가 같지 않은 결과를 보이므로, 통계적으로 두 시계열은 같지 않은 것이라고 할 수 있다.

이러한 결과는 몇 가지 시사점을 제시한다. 가장 먼저, 산업용 수요가 분명한 광물과 달리, 정치·경제적 변수가 시장에 개입하는 원유와 천연가스의 경우 저장이론에서 예상할 수 있는 가격 변동성에 대한 재고의 영향력이 두드러지게 나타나지 않는다. 특히 간접적 분석에서 WTI와 Brent 원유는 저장이론을 만족하지 않는 것으로 볼 때, 상품에 대한 수요와 공급 외의 투기성 등 다양한 변수가 재고와 가격 변동성 간 관계를 약화시킴을 추측할 수 있다. 또한 IAB와 옵션가치라는 서로 다른 관점에서 추정된 편의수익이 모든 상품에 대해 정확히 일치하는 결과를 갖지 않는다는 것은 가격의 예측 및 투자 결정 시 중점을 두는 사안에 따라 추정 방법을 달리해야 함을 의미한다. 따라서 IAB와 옵션가치의 통계적 행태를 분석함으로써 옵션가치 분석 시 다양한 옵션모형을 통해 결과를 비교하는 것이 필요하다.

따라서 향후 본 연구는 다음과 같은 방향으로 보완될 수 있다. 본 연구에서는 재고와 에너지·자원 가격의 관계에 초점을 맞추었으나, 시계열이 갖는 특성에 따라 분석 방법을 달리할 수 있다. 가격 시계열이 재고와의 갖는 관계는 오차수정모형, Granger 분석 등을 통한 인과관계, 장·단기 관계 등을 알 수 있다. 또한 옵션가치평가모형 이용 시, Black-Sholes 옵션모형을 전제조건을 만족하는지 검토하고 그렇지 않을 경우, 교환옵션모형, 아시안옵션모형 등으로 확장해 나갈 수 있다. 분석 시기 선정에 있어서도 본 연구에서는 2000년대 이후 전체를 대상으로 삼았으나, 자료가 허용하는 1980년대부터 5년 또는 10년 단위로 분석을 한다면 현재까지의 재고와 에너지·자원 상품간의 관계 변모를 확인하는 연구가 될 것으로 생각한다.

본 연구가 갖는 의의는 첫째, 기존 편의수익 연구를 종합화함으로써 향후

관련 연구를 발전시킬 수 있는 이론적 발판을 마련하였다. 기존 연구를 재정리해 체계화함으로써 관련 분야를 연구하고자 하는 연구자들이 흐름을 쉽게 살펴볼 수 있도록 정리했다. 이는 향후 연구를 이어가는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 둘째, 주요 에너지 상품과 광물 자원을 포괄하여 분석함으로써 재고로 인한 에너지와 광물의 경제적 특성을 비교하였다는 점에서 의의가 있다. 재고와의 관계에서 에너지와 광물간의 차이는 가격 추세 및 변동에 대한 재고의 역할과 정도에 차이가 있음을 시사한다. 이는 가격 및 재고 연구 시 상품에 따른 적절한 방법론이 고려되어야 함을 의미한다.

## 참고 문헌

- [1] 김호영, 김중현 (2005), “석유류 지하저장 시설의 현황과 전망,” 한국자원공학회지, Vol. 42, No. 4, pp. 280-286.
- [2] 박지훈 (2007), “상품선물시장에서의 편의수익 행태,” 한국과학기술원 석사학위논문.
- [3] 안은영, 이기훈 (2010). “석유 공급 교란을 통한 석유 비축 수준 평가,” 한국자원공학회지, Vol. 47, No. 5, pp. 705-722.
- [4] 안은영, 정소결 (2006), “천연가스 지하공동 비축시스템의 경제적 효과 분석,” 한국자원공학회지, Vol. 43, No. 6, pp. 615-623.
- [5] 윤원철 (2004), “베이지스를 이용한 석유비축의 경제성 제고 방안,” 자원·환경경제연구, Vol. 13, No. 2, pp. 301-322.
- [6] 윤원철 (2004), “선도계약을 활용한 비축유의 위험관리 방안,” 에너지경제연구, Vol. 3, No. 1, pp. 11-45.
- [7] 이인석 (2000), “옵션가격 결정이론을 이용한 자원개발사업 평가방법에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- [8] 이정환, 한정민, 신창훈, 안승희, 이영수, 성원모 (2009), “천연가스 지하저장 및 고갈가스전의 지하저장시설 활용에 대한 고찰,” 한국자원공학회지, Vol. 46, No. 1, pp. 114-124.
- [9] 한국과학기술원 (2007), “비축사업 중장기 발전방향 연구”
- [10] Admas, Z. and M. Gerner (2012), “Cross Hedging Jet-fuel Price Exposure,” Energy Economics, Vol. 34, No. 5, pp. 1301-1309
- [11] Amin, K. I and R. A. Jarrow (1991), “Pricing Foreign Currency Options under Stochastic Interest Rates,” Journal of International Money and Finance, Vol. 10, No. 3, pp. 310-329.

- [12] Baker, S. D and B. R. Routledge (2012), “The Price of Oil Risk,” Carnegie Mellon University.
- [13] Basu, D. and J. Miffre (2013), “ Capturing the Risk Premium of Commodity Futures The Role of Hedging Pressure,” Journal of Banking & Science, Vol. 37, No. 7, pp. 2652–2664.
- [14] Baxter, J. Conine, Jr., T. E. and M. Tamarkin (1985), “On the Commodity Market Risk Premium Additional Evidence,” The Journal of Futures Markets, Vol. 5, No. 1, pp. 121–125.
- [15] Beck, S. E. (1994), “Cointegration and Market Efficiency in Commodity Futures Markets,” Applied Economics, Vol. 26, No. 3, pp. 249–247.
- [16] Benirschka, M. and J. K. Binkley (1995), “Optimal Storage and Marketing over Space and Time,” American Journal of Agricultural Economics, Vol. 77, No. 33, pp. 512–524.
- [17] Bessembinder (1992), “Systematic Risk, Hedging Pressure, and Risk Premiums in Futures Markets,” The Review of Financial Studies, Vol. 5, No. 4, pp. 637–667.
- [18] Bhar, R. and C. Chiarella (2000), “Analysis Of Time Varying Exchange Rate Risk Premia,” Advances in Quantitative Asset Management, Studies in Computational Finance, Vol. 1, pp.255–273.
- [19] Bhar, R. and D. Lee (2011), “Time-varying Market Price of Risk in the Crude Oil Futures Market,” The Journal of Futures Markets, Vol. 31, No. 8, pp. 779–807.
- [20] Black, F. and M. Sholes (1973), “The Pricing of Options and Corporate Liabilities,” Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 3,



pp. 637–654.

- [21] Brennan, D., Williams, J. and B. D. Wright (1997), “Convenience Yield without the Convenience: A spatial-temporal Interpretation of Storage Under Backwardation,” Vol. 107, No. 443, pp. 1009–1022.
- [22] Brennan, M. J. (1958), “The Supply of Storage,” American Economic Review, Vol. 48, No. 1, pp. 50–72.
- [23] Brooks, C. Prokopczuk, M. and Y. Wu (2011), “Commodity Futures Prices More Evidence on Forecast Power, Risk Premia and the Theory of Storage,” Working Paper, Quarterly Review of Economics and Finance.
- [24] Carbonez, K. A. E., Nguyen, V. T. T. and P. Sercu, “Do Inventories Really Yield a Convenience? An Empirical Analysis of the Cost-adjusted Basis,” Working Paper, K. U. Leuven.
- [25] Carmona, R. and M. Ludkovski (2003), “Spot Convenience Yield Models for Energy Assets,” Working Paper, Princeton University.
- [26] Casassus, J. and P. Collin-Dufresne (2005), “Stochastic Convenience Yield Implied from Commodity Futures and Interest Rates,” The Journal of Finance, Vol. 60, No. 5, pp. 2283–2331.
- [27] Chang, C. Lai, J. and I. Chuang (2010), “Futures Hedging Effectiveness under the Segmentation of Bear Bull Energy Markets,” Energy Economics, Vol. 32, No. 2, pp. 442–449.
- [28] Chang, E. C. (1985), “Returns to Speculators and the Theory of Normal Backwardation,” The The Journal of Finance, Vol. 40, No. 1, pp. 193–208
- [29] Chang, E. C. and Chen, C. and S., Chen (1990), “Risk and Return in

- Copper, Platinum and Silver Futures,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 10, No. 1, pp. 29–39.
- [30] Chang, M. T. and G. Foster (2012), “The Implied Convenience Yield of Precious metals: Safe Haven versus Industrial Usage,” *Review of Futures Markets*, Vol. 20, No. 4, pp. 349–394.
- [31] Chavas, J. Despins, P. M. and T. R. Fortenbery (2000), “Inventory Dynamics under Transaction Costs,” *American Journal of Agricultural Economics*, Vol. 82, No. 2, pp. 260–273.
- [32] Chen, T. F., Lin, M. I. and K. Wang (2006), “The Information Content of the Implied Convenience Yield: Using Copula Based American GARCH Call Option Pricing Model,” Working Paper.
- [33] Chernenko, S. Schwarz, K. and J. H. Wright (2004), “The Information Content of Forward and Futures Price,” FRB International Finance Discussion Paper, No. 808
- [34] Cho, D. W. and G. S. McDougall (1990), “The Supply of Storage in Energy Futures Markets,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 10, No. 6, pp. 611–621.
- [35] Considine, T. J. and D. F. Larson (2001), “Risk Premiums on Inventory Assets: the Case of Crude Oil and Natural Gas,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 21, No. 2, pp. 109–126,
- [36] Cootner, P. H. (1960), “Returns to Speculators, Telser vs. Keynes,” *Journal of Political Economy*, Vo. 68, No. 4, pp. 396–404.
- [37] Deaves, R. and I. Krinsky (1996), “Do Futures Prices for Commodities Embody Risk Premiums,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 15, No. 6, pp. 637–648.

- [38] Dincerler, C. Khokher, Z. and T. S. Timothy (2005), “An Empirical Analysis of Commodity Convenience Yields,” Working Paper.
- [39] Dincerler, C., Khokher, Z. and S. Titman (2003), Futures Premia and Storage,” Working Paper.
- [40] Dusak, K. (1973), “Futures Trading and Investor Returns,” Journal of Political Economy, Vol. 81, No. 6, pp. 1387–1406.
- [41] Elam E. W. and D. Vaught (1988), “Risk and Return in Cattle and Hog Futures,” The Journal of Futures Markets, Vol. 8, No. 1, pp. 79–87.
- [42] Fama, E. F. and K. R. French (1987), “Commodity Futures Prices: Some Evidence on Forecast Power, Premiums, and the Theory of Storage,” Journal of Business, Vol. 60, No. 1, pp. 55–73.
- [43] Fama, E. F. and K. R. French (1988), “Business Cycles and the Behavior of Metals Prices,” The Journal of Finance, Vol. 43, No. 5, pp. 1075–1093.
- [44] Fattouh, B. (2007), “WTI Benchmark Temporarily Breaks Down: Is It Really a Big Deal?,” Oxford Energy Comment.
- [45] Frechette, D. L. and P. L. Fackler (1999), “What Causes Commodity Price Backwardation?,” American Journal of Agricultural Economics, Vol. 81, No. 4, pp. 761–771.
- [46] Gao, A. H. and G. H. K. Wang (2005), “Asymmetric Volatility of Basis and the Theory of Storage,” The Journal of Futures Markets, Vol. 25, No. 4, pp. 399–418.
- [47] Geman H. and V. Nguyen (2005), “Soybean Inventory and Forward Curve Dynamics,” Management Science, Vol. 51, No. 7, pp.

1076–1091.

- [48] Geman, H. and S. Ohana (2009), “Forward Curves, Scarcity and Price Volatility in Oil and Natural Gas Markets,” *Energy Economics*, Vol. 31, No. 4, pp. 576–585.
- [49] Gibson, R. and E. S. Schwartz (1990), “Stochastic Convenience Yield and the Pricing of Oil Contingent Claims,” *Journal of Finance*, Vol. 45, No. 3, pp. 959–976.
- [50] Gorton, G. and K. G. Rouwenhorst (2006), “Facts and Fantasies about Commodity Futures,” *Financial Analysts Journal*, Vol. 62, No. 2, pp. 47–68.
- [51] Gorton, G. B., Hayashi, F. and K. G. Rouwenhorst (2012), “The Fundamentals of Commodity Futures Returns,” *Review of Finance*, Working Paper.
- [52] Gray, R. W. (1961), “The Search for a Risk Premium,” *Journal of Political Economy*, Vol. 69, No. 3, pp. 250–260.
- [53] Gray, R. W. and A. E. Peck (1981), “The Chicago Wheat Futures Market: Recent Problems in Historical Perspective,” *Food Research Institute Studies*, Vol. 18, No. 1, pp. 327–350.
- [54] Haase, N. and H. Zimmermann (2013), “Scarcity, Risk Premiums and the Pricing of Commodity Futures,” *The Journal of Alternative Investments*, Vol. 15, No. 1, pp. 43–71.
- [55] Heaney, R. (2002), “Approximation for Convenience Yield in Commodity Futures Pricing,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 22, No. 10, pp. 1004–1017.
- [56] Heinkel, R., Howe, M. E. and J. S. Hughes (1990), “Commodity

- Convenience Yields as an Option Profit,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 10, No. 5, pp. 519–533.
- [57] Hirshleifer, D. (1988), “Residual Risk, Trading Costs, and Commodity Futures Risk Premia,” *The Review of Financial Studies*, Vol. 1, No. 2, pp. 173–193.
- [58] Hirshleifer, D. (1989), “Determinants of Hedging and Risk Premia in Commodity Futures Markets,” *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 24, No. 3, pp. 313–331.
- [59] Hochradl, M. and M. Rammerstorfer (2012), “The Convenience Yield Implied in European Natural Gas Hub Trading,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 32, No. 5, pp. 459–479.
- [60] Kaldor, N. (1939), “Speculation and Economic Stability,” *The Review of Economic Studies*, Vol. 7, No. 1, pp. 1–27.
- [61] Keynes, J. M. (1930), “A Treatise on Money. The Applied Theory of Money,” Vol. 2, Mcmillan Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [62] Khan, S. Khokher, A. and T. Simin (2005), “Inventories, Convenience Yields and Mean Reversion,” Working Paper.
- [63] Khan, S. Khokher, A. and T. Simin (2008), “Expected Commodity Futures Returns,” Working Paper.
- [64] Khan, S., Khokher, A. and T. Simin (2007), “Scarcity and Risk Premiums in Commodity Futures,” Working Paper.
- [65] Kocagil, A. E. (2004), “Optionality and Daily Dynamics of Convenience Yield Behavior: An Empirical Analysis,” *Journal of Financial Research*, Vol. 27, No. 1, pp. 143–158.

- [66] Kucher, O. and A. Kurov (2012), “Energy Commodity Basis, Returns and the Business Cycle,” Working Paper West, Verginia University.
- [67] Kuper, G. H. (2012), “Inventories and Upstream Gasoline Price Dynamics,” *Energy Economics*, Vol. 34, No. 1, pp. 208–214.
- [68] Lautier, D. (2009), “Convenience Yield and Commodity Markets,” *Chaire Finance & Developpement Durable*.
- [69] Longstaff, F. A. (1995), “How Much Can Marketability Affect Security Values?,” *The Journal of Finance*, Vol. 50, No. 5, pp. 1767–1774.
- [70] Melolinna, M. (2011), “What Explains Risk Premia in Crude Oil Futures,” *OPEC Energy Review*, Vol. 35, No. 4, pp. 287–307.
- [71] Miffre, J. (2000), “Normal Backwardation is Normal,” *The Journal of Futures Markets*, vol. 20, No. 9, pp. 803–821.
- [72] Milonas N. T. and S. B. Thomadakis (1997), “Convenience Yields as Call Options: An Empirical Analysis,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 17, No. 1, pp. 1–15.
- [73] Miltersen, K. R. and E. S. Schwartz (1998), “Pricing of Options on Commodity Futures with Stochastic Term Structures of Convenience Yields and Interest Rates,” *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, Vol. 33, No. 1, pp. 33–59.
- [74] Pindyck R. S. (2004), “Volatility and Commodity Price Dynamics,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 24, No. 11, pp. 1029–1047.
- [75] Pindyck, R. S. (1994), “Inventories and the Short-Run Dynamics of Commodity Prices,” *The Rand Journal of Economics*, Vol. 25, No. 1, pp. 141–159.

- [76] Pindyck, R. S. (2001), “The Dynaics of Commodity Spot and Futures Markets: A Primer,” *Energy Journal*, Vol. 22, No. 3, pp. 1-29.
- [77] Ribeiro, D. R. and Hodges, S. D. (2004), “Equilibrium Model for Commodity Prices: Competitive and Monopolistic Markets,” Working Paper, Coventry, UK: University of Warwick.
- [78] Rockwell, C. S. (1967), “Normal Backwardation, Forecasting and the Returns to Commodity Futures Traders,” Yale University.
- [79] Sadorsky, P. (2002), “Time-varying Risk Premiums in Petroleum Futures Prices,” *Energy Economics*, Vol. 24, No. 6, pp. 539-556.
- [80] Schwartz, E. S. (1997), “The Stochastic Behavior of Commodity Prices: Implications for Valuation and Hedging,” Vol. 52, No. 3, pp. 923-973.
- [81] Schwartz, E. S. and J. E. Smith (2000), “Short-Term Variations and Long-Term Dynamics in Commodity Prices,” *Management Science*, Vol. 46, No. 7, pp. 893-911.
- [82] Serletis, A. (1991), “Rational Expectations, Risk and Efficiency in Energy Futures Markets,” *Energy Economics*, Vol. 13, No. 2, pp. 111-115.
- [83] Smimou, K. (2006), “Estimation of Canadian Commodity Market Risk Premiums under Price Limits: Two-phase Fuzzy Approach,” *Omega*, Vol. 34, No. 5, pp. 477-491.
- [84] Stronzik, M., Rammerstorfer, M. and A. Neumann (2009), “ Does the European Natural Gas Market Pass the Competitive Benchmark of the Theory of Storage? Indirect Tests for Three Major Trading Points,” *Energy Policy*, Vol. 37, No. 12, pp. 5432-5439.

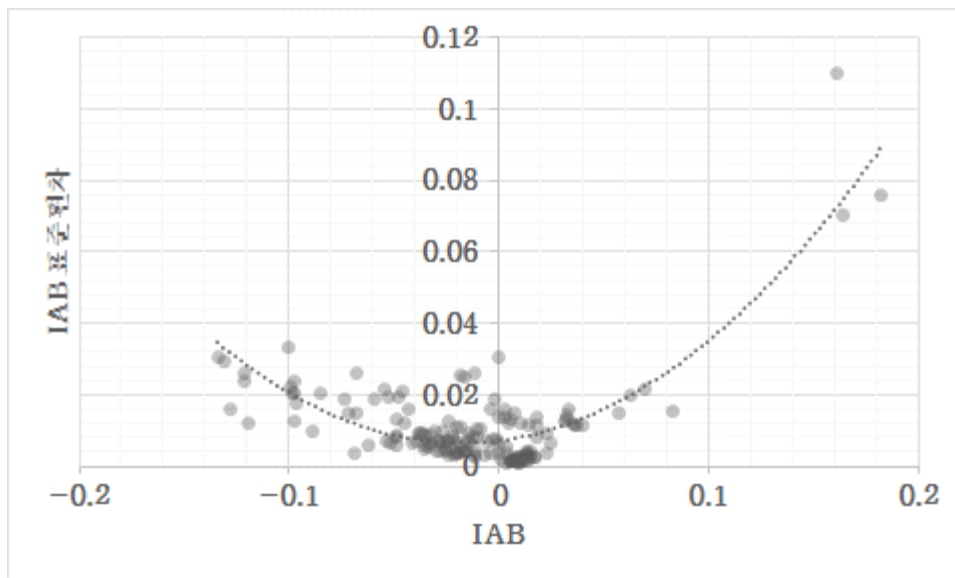
- [85] Symeonidis, L., Prokopczuk, M. Brooks, C. and E. Lazar (2012), "Futures Basis, Inventory and Commodity Price Volatility: An Empirical Analysis," *Economic Modelling*, Vol. 29, No. 6, pp. 2651–2663.
- [86] Szymanowska, M. Roon F. D. Nijman, T. and R. V. Goorbergh (2013), "An Anatomy of Commodity Futures Risk Premia," Working Paper, *Journal of Finance*.
- [87] Telser, L. G. (1958), "Futures Trading and the Storage of Cotton and Wheat," *Journal of Political Economy*, Vol. 66, No. 3, pp. 233–255.
- [88] Telser, L. G. (1983), "Futures Trading and the Storage of Cotton and Wheat," *Journal of Political Economy*, Vol. 66, pp. 233–255.
- [89] Thompson, S. (1986), "Returns to Storage in Coffee and Cocoa Futures Markets," *The Journal of Futures Markets*, Vol. 6, No. 4, pp. 541–564.
- [90] Volmer, T. (2011), "A Robust Model of the convenience Yield in the Natural Gas Market," *The Journal of Futures Markets*, Vol. 31, No. 11, pp. 1011–1051.
- [91] Wei, C. and Z. Zhu (2006), "Commodity Convenience Yield and Risk Premium Determination," *Energy Economics*, Vol. 28, No. 4, pp. 523–534.
- [92] West, J. (2012), "Convenience Yields in Bulk Commodities: The Case of Thermal Coal," *International Journal of Business and Finance Research*, Vol. 6, No. 4, pp. 33–44.
- [93] Working, H. (1948), "Theory of the Inverse Carrying Charge in



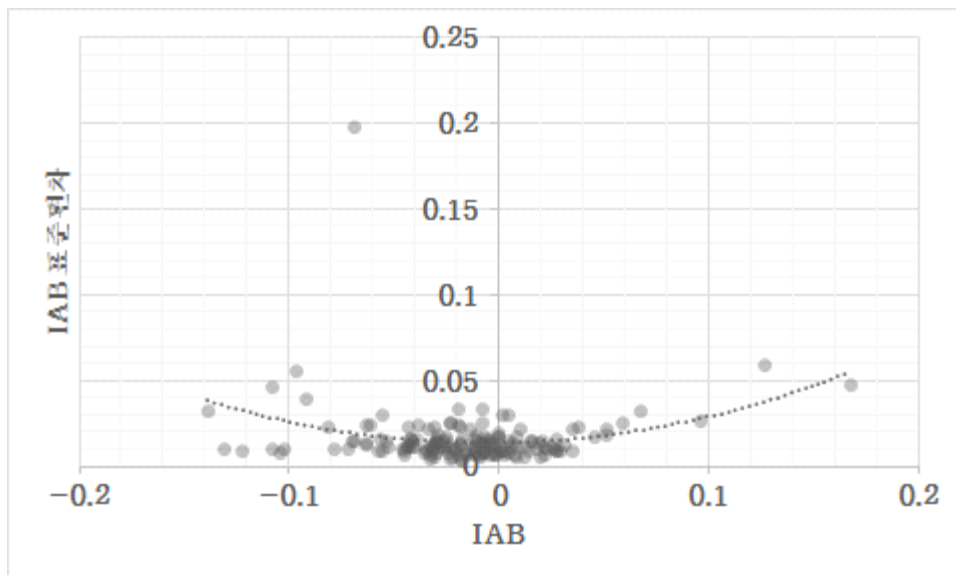
- Futures Markets,” *Journal of Farm Economics*, vol. 30, No. 1, pp. 1-28.
- [94] Working, H. (1949), “The Theory of Price of Storage,” *American Economic Review*, Vol. 39, No. 6, pp. 1254-1262.
- [95] Wright, B. D. and J. C. Williams(1989), “A Theory of Negative Prices for Storage,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-13.
- [96] Zulauf, C. R., Zhou H. and M. C. Roberts (2006), “Updating the Estimation of the Supply of Storage,” *The Journal of Futures Markets*, Vol. 26, No. 7, pp. 657-676.
- [97] 한국석유공사 페트로넷, [www.petronet.com](http://www.petronet.com)
- [98] 미국에너지부(U.S. Energy Information Administration, EIA), [www.eia.gov](http://www.eia.gov)

## 부 록

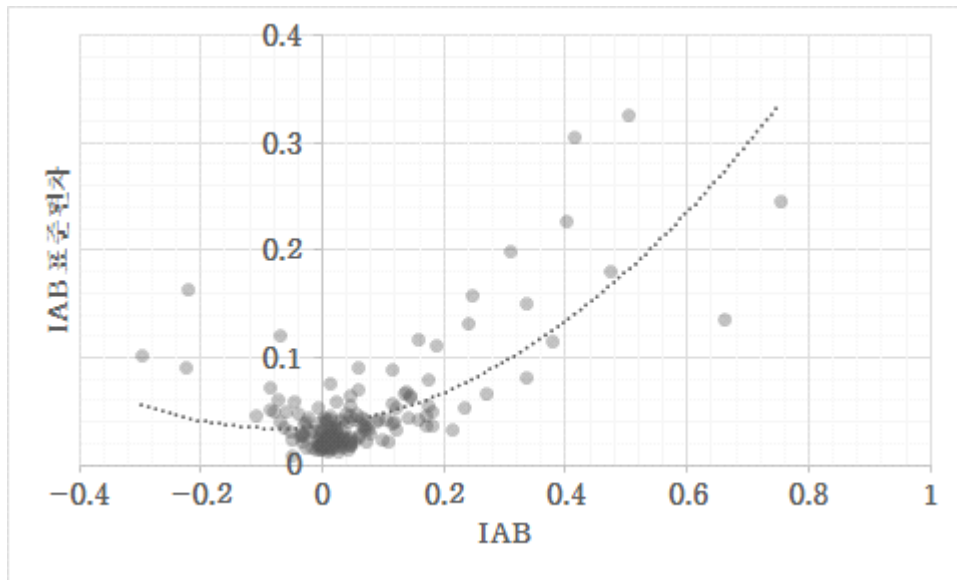
### IAB와 IAB 변동성 관계



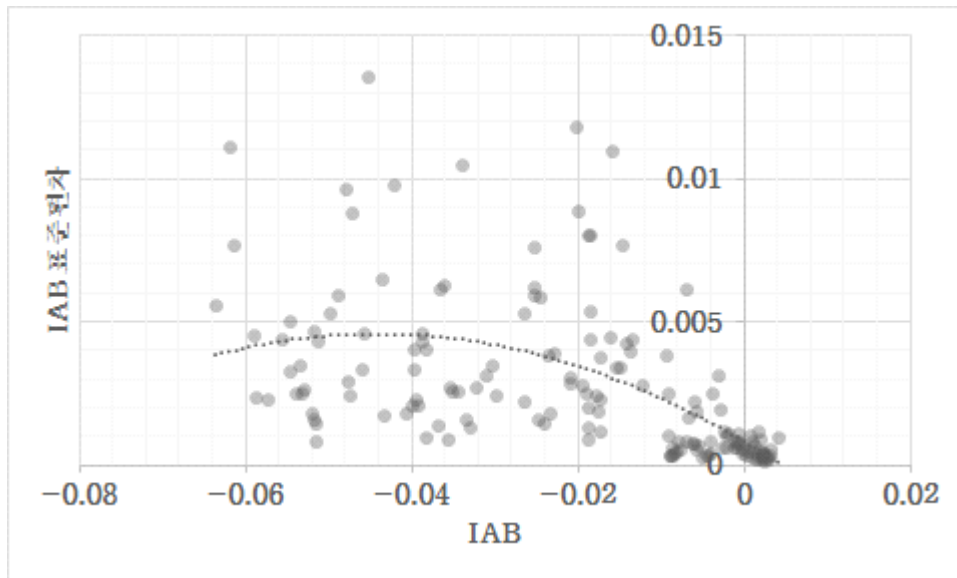
<그림 1> WTI 원유 IAB와 IAB 변동성 관계



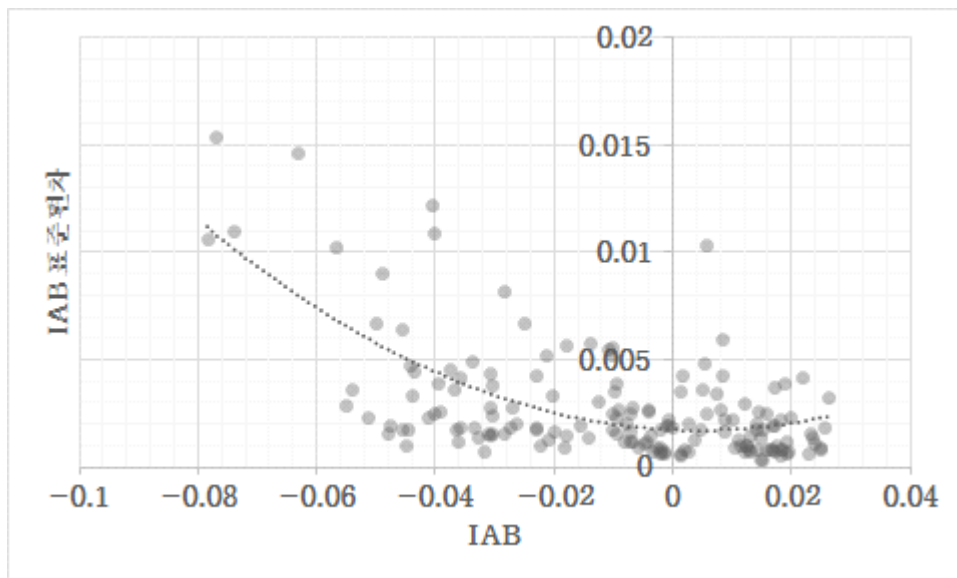
<그림 2> Brent 원유 IAB와 IAB 변동성 관계



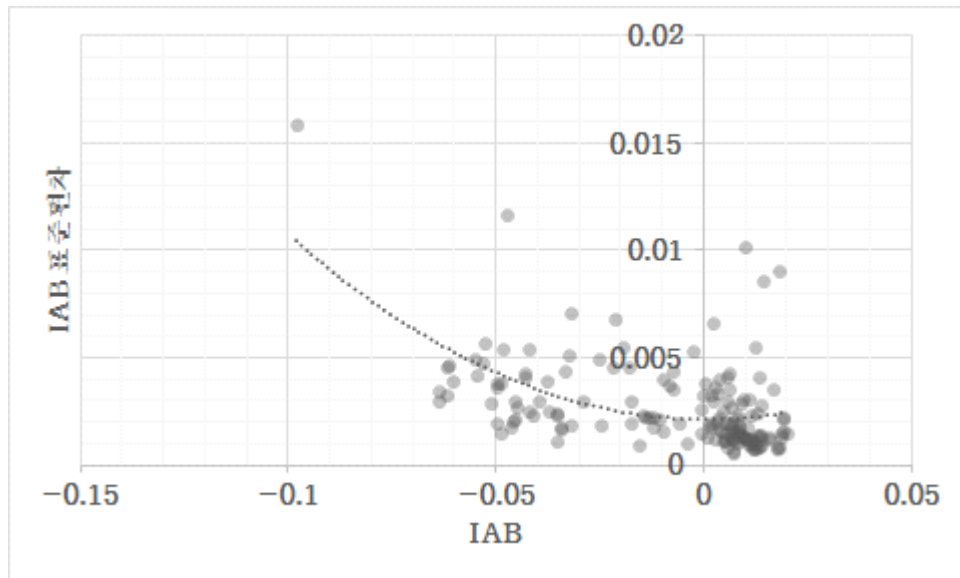
<그림 3> 헨리허브 천연가스 IAB와 IAB 변동성 관계



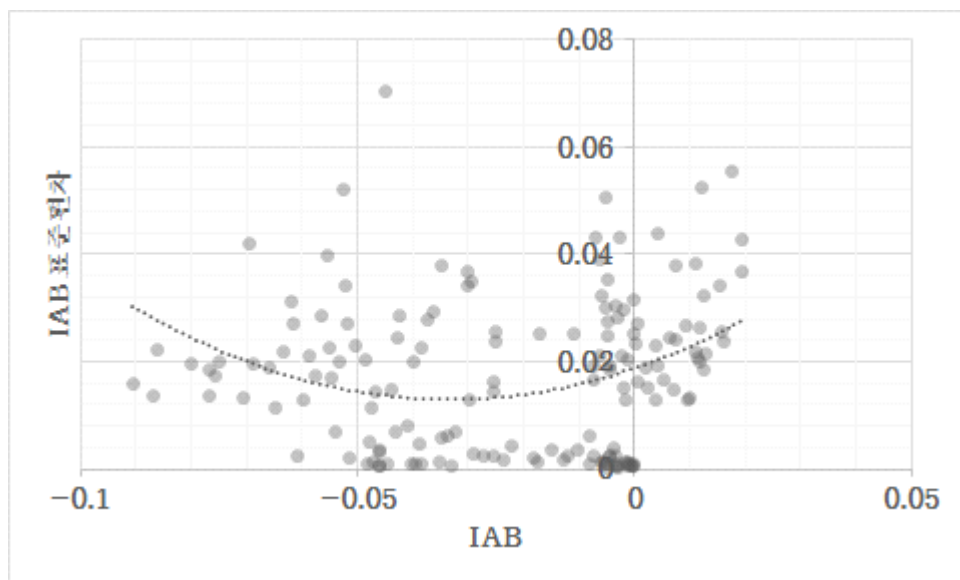
<그림 4> 철 IAB와 IAB 변동성 관계



<그림 5> 알루미늄 IAB와 IAB 변동성 관계



<그림 6> 아연 IAB와 IAB 변동성 관계



<그림 7> 구리 IAB와 IAB 변동성 관계

## 최근 편의수익 연구 추세

[표 1] Energy Economics의 최근 10년 이내 재고 및 선행연구

연도	제목	저자	키워드
2013	The stochastic seasonal behavior of energy commodity convenience yields	Andrés García Mirantes, Javier Población, Gregorio Serna	Stochastic calculus; Commodity prices; Convenience yield; Seasonality; Kalman filter
2013	Pricing option contracts on the strategic petroleum reserve	Frederic Murphy, Fernando S. Oliveira	Finance; Inventory; Markov processes; Option pricing; Petroleum markets; Risk management
2013	Efficient mechanisms for access to storage when competition in gas markets is imperfect	Alberto Cavaliere, Valentina Giust, Mario Maggi	Liberalization; Auctions; Essential facilities
2012	How market efficiency and the theory of storage link corn and ethanol markets	Mindy L. Mallory, Scott H. Irwin, Dermot J. Hayes	Ethanol; Corn; Energy; Storage; Arbitrage; Cointegration; Futures; Price-analysis

2012	Inventories and upstream gasoline price dynamics	Gerard H. Kuper	Asymmetry; Gasoline prices; Inventories; Volatility
2012	Price discount, inventories and the distortion of WTI benchmark	Chung-Wei Kao, Jer-Yuh Wan	Oil price; Hasbrouck model; WTI Cushing problems; Rolling estimation
2012	Optimal path for China's strategic petroleum reserve: A dynamic programming analysis	Y. Bai, D.Q. Zhou, P. Zhou, L.B. Zhang	Strategic petroleum reserve; Dynamic programming; Petroleum acquisition strategy; Stockpile
2012	A dynamic programming model of China's strategic petroleum reserve: General strategy and the effect of emergencies	Gang Wu, Yi-Ming Wei, Chris Nielsen, Xi Lu, Michael B. McElroy	Dynamic programming model; Strategic petroleum reserve; Stockpile strategy; Drawdown strategy; Oil supply emergency
2011	Evaluating the economic cost of natural gas strategic storage restrictions	João Miguel Ejarque	Natural gas; Seasonal arbitrage; Strategic storage policy

2011	Anticipated and unanticipated effects of crude oil prices and gasoline inventory changes on gasoline prices	Stanislav Radchenko, Dmitry Shapiro	Gasoline price response; Anticipated price changes; Gasoline inventory; Lags in gasoline adjustment; Unanticipated price changes
2010	The behavior of crude oil spot and futures prices around OPEC and SPR announcements: An event study perspective	Rıza Demirer, Ali M. Kutan	Crude oil; OPEC; Strategic petroleum reserves; Futures markets; Event study; Energy policy
2009	Forward curves, scarcity and price volatility in oil and natural gas markets	Hélyette Geman, Steve Ohana	Forward curves; Natural gas; Crude oil; Scarcity; Energy price volatility; Convenience yield
2008	The welfare effects of unbundling gas storage and distribution	Michèle Breton, Mohammed Kharbach	Gas market; Equilibrium; Open access
2008	Empirical analysis of optimal strategic petroleum reserve in China	Yi-Ming Wei, Gang Wu, Ying Fan, Lan-Cui Liu	Strategic petroleum reserve (SPR); Loss of GDP; Decision tree model



2007	Weather,storage,andnaturalgaspricedynamics:Fundamentalsandvolatility	Xiaoyi Mu	Natural gas; Price volatility; Weather; Storage
2006	Commodity storage valuation: A linear optimization based on traded instruments	Joe Wayne Byers	Commodity valuation; Asset valuation; Storage; Natural gas; Real options
2005	Natural-gas futures: Bias, predictive performance, and the theory of storage	Bagher Modjtahedi, Nahid Movassagh	Natural-gas futures; Backwardation; Unit roots; Cointegration; Dynamic GLS; Market timing; Storage

[표 2] Energy Policy의 최근 10년 이내 재고 및 선행연구

연도	제목	저자	키워드
2010	Demand for seasonal gas storage in northwest Europe until 2030: Simulation results with a dynamic model	J. de Joode, Ö. Özdemir	Natural gas; Seasonal gas storage; Gas market modeling
2009	Does the European natural gas market pass the competitive benchmark of the theory of storage? Indirect tests for three major trading points	Marcus Stronzik, Margarethe Rammerstorfer, Anne Neumann	Storage; Natural gas; Convenience yield
2009	Gas storage services and regulation in Italy: A Delphi analysis	Monica Bonacina, Anna Creti, Antonio Sileo	Italian gas market; Storage; Delphi survey
2008	Some economics of seasonal gas storage	Corinne Chaton, Anna Creti, Bertrand Villeneuve	Gas storage; Energy policies; US

2007	Demand for storage of natural gas in northwestern Europe: Trends 2005 - 30	Felix Höffler, Madjid Kübler	Seasonal swing; Strategic storage obligations; Third-party access
2006	Forecasting short-run crude oil price using high- and low-inventory variables	Michael Ye, John Zyren, Joanne Shore	Petroleum; Price; Forecast
2006	Assessment of the relationship between oil prices and US oil stocks	Salman Saif Ghouri	Oil; Price; Stocks
2006	When should we use strategic oil stocks?	Sarah A. Emerson	No keywords
2006	Selective hedging strategies for oil stockpiling	Won-Cheol Yun	Selective hedging; Forward contracts; Oil stockpiling
2005	Simulating the impacts of a strategic fuels reserve in California	Andrew Ford	Gasoline; Reserves; Simulation

[표 3] The Journal of Futures Markets의 최근 10년 이내 재고 및 선행연구

연도	제목	저자	키워드
2013	Noisy inventory announcements and energy prices	Marketa W. Halova, Alexander Kurov and Oleg Kucher	futures markets, energy prices, inventory announcements, event study, measurement error
2013	The Asymmetric Commodity Inventory Effect on the Optimal Hedge Ratio	Jean-Francois Carpentier and Besik Samkharadze	BEKK, commodity, asymmetries, hedging, inventory effect
2012	Commercial Real-Estate Inventory and Theory of Storage	Helyette Geman and Radu Tunaru	real estate, theory of storage
2012	The convenience yield implied in European natural gas hub trading	Markus Hochradl and Margarethe Rammerstorfer	European natural gas hub trading, convenience yield, option based approach, theory of storage
2011	A robust model of the convenience yield in the natural gas market	Thomas Volmer	convenience yield, natural gas storage, robustness test

2009	Analyst forecasts and price discovery in futures markets: The case of natural gas storage	Gerald D. Gay, Betty J. Simkins and Marian Turac	Analyst forecasts, futures markets, price discovery, storage
2007	On inverse carrying charges and spatial arbitrage	Donald F. Larson	Commodity futures, Inventory Management, Financial Economics, Arbitrage, Copper, United Kingdom
2006	Updating the estimation of the supply of storage	Carl R. Zulauf, Haijiang Zhou and Matthew C. Roberts	supply of storage, implied volatility, convenience yield, Research Methods/ Statistical Methods
2005	Asymmetric volatility of basis and the theory of storage	Andre H. Gao and George H. K. Wang	Volatility, Financial derivatives, Inventory model, Estimation, United States, Precious metal
2005	A contango-constrained model for storable commodity prices	Diana R. Ribeiro and Stewart D. Hodges	commodity price dynamics, risk-neutral measure, cost of carry
2004	Volatility and Commodity Price Dynamics	Roberts S. Pindyck	volatility, marginal value of storage, marginal cost of productions

2002	Approximation for convenience yield in commodity futures pricing	Richard Heaney	convenience yield, futures pricing
------	---	----------------	------------------------------------

[표 4] 국내 최근 10년 이내 재고 및 선행연구

연도	저널명	제목	저자	키워드
2004	에너지경제연구	선도계약을 활용한 비축유의 위험관리방안	윤원철	위험관리, 비축유, 선도계약
2010	한국자원공학회지	석유공급교란을 통한 석유비축 수준 평가	안은영, 이기훈	국제석유공급교란, 석유비축 수준 평가, 위험회피투자
2009	한국자원공학회지	천연가스 지하저장 및 고갈 가스전의 지하저장시설 활용에 대한고찰	이정환, 한정민, 신창훈, 안승희, 이영수, 성원모	천연가스, 지하저장, 고갈가스전, 워킹가스, 쿠션가스, 피크저감
2006	한국자원공학회지	천연가스 지하공동 비축 시스템의 경제적 효과 분석	안은영, 정소결	경제적 효과 분석, 천연가스 지하 저장, 지하 암반저장
2005	한국자원공학회지	석유류 지하저장 시설의 현황과 전망	김호영, 김중현	전략 비축, 무복공 저장 공동, 대단면 공동, 수벽공 시스템, 암반의 냉열 거동, 복공식 저장 공동 (LRC)
2004	자원환경경제연구	베이스스를 이용한 석유비축의 경제성 제고 방안	윤원철	베이스스, 석유비축, 선도거래

[표 5] 리스크 프리미엄 및 정상적 역조시장 연구

저자	연도	제목	대상	분석 기간	방법론
Cootner	1960	Returns to Speculators, Telser vs. Keynes			
Gray	1961	The Search for a Risk Premium	Commodity		
Rockwell	1967	Normal Backwardation, Forecasting and the Returns to Commodity Futures Traders	Commodity	1947~1965	
Dusak	1973	Futures Trading and Investor Returns	Commodity	1952~1967	CAPM
Baxter et al.	1985	On the Commodity Market Risk Premium Additional Evidence	Commodity	1975~1981	CAPM
Chang	1985	Returns to Speculators and the Theory of Normal Backwardation	Commodity	1951~1980	Henriksson and Merton
Elam and Vaught	1988	Risk and Return in Cattle and Hog Futures	Commodity	1975~1985	CAPM, Portfolio
Hirshleifer	1988	Residual Risk, Trading Costs, and Commodity Futures Risk Premia	Commodity		



Hirshleifer	1989	Determinants of Hedging and Risk Premia in Commodity Futures Markets	Commodity		
Chang et al.	1990	Risk and Return in Copper, Platinum and Silver Futures	Commodity	1964~1983	CAPM
Serletis	1991	Rational Expectations, Risk and Efficiency in Energy Futures Markets	Oil	1983~1998	Regression
Beck	1994	Cointegration and Market Efficiency in Commodity Futures Markets	Commodity	1966~1987	E f f i c i e n c y , Cointegration
Pindyck	1994	Inventories and the Short-Run Dynamics of Commodity Prices	Commodity		
Moosa and Al-Loughani	1994	Unbiasedness and Time Varying Risk Premia in Oil Futures	Oil	1986~1990	GARCH-M
Deaves and Krinsky	1995	Do Futures Prices for Commodities Embody Risk Premiums	Oil	1983~1990	CAPM, ARCH

Peroni and Mcnown	1998	Noninformative and Informative Tests of Efficiency in Three Energy Futures Markets	Oil	1984~1996	Cointegration, Regression
Sequeira et al.	1999	Estimation of Risk Premium and Cost-of-Carry models for Currency Futures Contracts	Financial	1989~1996	Cointegration
Miffre	2000	Normal Backwardation is Normal	Commodity	1982~1996	C o n d i t i o n a l CAPM and APT, GMM
Cosidine and Larson	2001	Risk Premiums on Inventory Assets	Oil, Gas	1990-1999	(A model of inventories under a price risk)
Pindyck	2001	The dynamics of commodity spot and futures markets	Commodity		
Sadorsky	2002	Time-varying Risk Premiums in Petroleum Futures Prices	Oil	1984~1998	ARMAX-ARCH

Dincerler et al.	2003	Futures Premia and Storage	Gas	1994~2001	ARIMA, CAPM
Ludkovski and Carmona	2003	Spot Convenience Yield Models for Energy Assets			
Chernenko et al.	2004	The Information Content of Forward and Futures Prices	Oil, Gas	1989~2003	Regression,
Pindyck	2004	Volatility and Commodity Dynamic Prices			
Khanetal.	2005	Inventories, Convenience Yields and Mean Reversion	Oil, Gas, Gold, Copper	1995~2004	Multivariate affine model, VaR
Dincerler et al.	2005	An Empirical Analysis of Commodity Convenience Yields	Energy	1994~2004	Multivariate GARCH
Khan et al.	2005	Inventories, Convenience Yields and Mean Reversion	Oil, Gas, Gold, Copper	1995~2004	Multivariate affine model, VaR
Gorton and Rouwenhorst	2006	Facts and Fantasies about Commodity Futures	Commodity	1959~2004	
Wei and Zhu	2006	Commodity Convenience Yield and Risk Premium Determination	Commodity	1991~2003	Regression, state-space model

Simimou	2006	Estimation of Canadian Commodity Market Risk Premiums under Price Limits	Commodity	1991~2000	CAPM, Fuzzy regression methods
Cheridito et al.	2007	Market Price of Risk Specifications for Affine Models			
Inci and Lu	2007	Currency Futures-Spot Basis and Risk Premium	Currency	1982~2000	Uncovered interest parity
Khan et al.	2007	Scarcity and Risk Premiums in Commodity Futures	Oil, Gas, Gold, Copper	1995~2005	Clarson, Khokher and Titman model
Gorton et al.	2007	The Fundamentals of Commodity Futures Returns	Commodity	1971~2010	Non-linear model
Khan et al.	2008	Expected Commodity Futures Returns	Oil, Gas, Gold, Copper	1988~2005	Unconditional model, Time-varying beta model

Geman and Ohana	2009	Forward Curves, Scarcity and Price Volatility in Oil and Natural Gas Markets	Oil, Gas	1993~2008	Regression
Lautier	2009	Convenience Yield and Commodity Markets	Commodity		
Furio and Meneu	2010	Expectations and Forward Risk Premium in the Spanish Deregulated Power Market	Electricity	2003~2008	B-L model
Bhar and Lee	2010	Time-varying Market Price of Risk in the Crude Oil Futures Market	Oil	1990~2007	Long/Short term component model
Basu and Miffre	2011	Capturing the Risk Premium of Commodity Futures The Role of Hedging Pressure	Commodity	1992~2010	Portfolio
Hasse and Zimmermann	2011	Scarcity, Risk Premiums and the Pricing of Commodity Futures	Oil	1995~2010	Multi factor model,GMM
Melolinna	2011	What Explains Risk Premia in Crude Oil Futures	Oil	1999~2004	OLS, Bayesian VAR model

Baker and Routledge	2012	The Price of Risk	Oil	1990~2010	Pareto optimal
Fattouh	2012	The Role of Speculation in Oil Markets			
Sick and Cassano	2012	Forward Copper Price Models A Kalman Filter Analysis	Copper	1988~2011	Kalman filter
Szymanowski a et al.	2013	An Anatomy of Commodity Futures Risk Premia	Commodity	1986~2010	Decomposition, factor model, ARIMA
Brooks et al.	2013	Commodity Futures Prices More Evidence on Forecast Power, Risk Premia and the Theory of Storage	Commodity	1966~2010	Fama and French(1987)

## **Abstract**

# **A Study on Convenience Yield of Energy and Mineral Commodities**

Soohyeon Kim

Environmental, Energy and Engineering Economics

Department of Energy system Engineering

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study is to estimate convenience yield of energy commodities and analyze the relationship between the convenience yield and energy inventories.

A lot of studies about the convenience yield of commodities have been conducted. However, there are no study which performed the thorough research on the systemization or the tests on energy and mineral commodities. To do this, prior studies were divided into 3 groups, 1) the traditional theory of storage and its direct tests, 2) the indirect tests on the theory of storage, and 3) optionality of convenience yield. From this systemization, methodologies of each part were used to analyze the relationship between the inventories and convenience yields for 7 energy and mineral commodities during 2001.1-2013.7. Each of the spot prices, 3

months futures prices and inventory levels are used for the tests.

The study has the following three major implications.

First, there are positive relationship between the inventory levels and interest-adjusted basis(IAB) for every commodities. Decreasing inventory levels lead to increase of the convenience yield.

Second, the tests on the hypothesis that negative IAB has bigger price volatility than positive IAB give mixed results. Regardless of the methodologies, WTI and Brent crude oil The mineral do not satisfy the theory of storage within the framework of price volatility. It means that they show higher price volatility when IAB is positive.

Third, the optionality of convenience yield was verified except for Brent crude oil. The majority of commodities showed downward sloping between the inventories and the option values. Furthermore, when I tested the similarity of the negative IAB and the option value, only tin satisfied the null hypothesis that negative IAB and the option value have the same trend.

**keywords** : **Energy, Mineral, Convenience Yield, Inventory, Optionality**

**Student Number** : **2012-20990**